



УДК 543.723

Сорбционная емкость ультрафильтрационных мембран УАМ-150 и УПМ-К в водных растворах лаурилсульфата натрия

Хорохорина И.В., Лазарев С.И.

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» Тамбов

Поступила в редакцию 04.03.2015 г.

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования по сорбционной емкости и определению потенциала поля поверхностных сил ультрафильтрационных мембран в водных растворах анионных поверхностно-активных веществ. Получены значения концентрации растворенного вещества в мембране и рассчитан потенциал поля поверхностных сил. Установлены численные значения эмпирических коэффициентов для теоретического расчета концентрации растворенного вещества в мембране.

Ключевые слова: ультрафильтрационная мембрана, сорбционная активность, потенциал поля поверхностных сил.

The sorption capacity of ultrafiltration membranes UAM-150 and UPM-K in aqueous solutions of sodium lauryl sulfate

Khorokhorina I.V., Lasarev S.I.

Tambov State Technical University, Tambov

Developed a method and experimental studies on sorption capacity and determination of the potential field of surface forces ultrafiltration membranes in aqueous solutions of anionic surfactants. Provided experimental values of the concentration of solute in the membrane. Calculated potential field of surface forces. A formula is derived and the numerical values of the empirical coefficients for the theoretical calculation of the concentration of the solute in the membrane.

Keywords: sorption activity, distribution coefficient, ultrafiltration membrane, the potential field of surface forces

Введение

Вопросы переноса веществ в ультрафильтрационных мембранах, до настоящего времени, остаются дискуссионными [1]. Существует несколько гипотез, объясняющих механизм ультрафильтрационного переноса, где учитывается влияние осмотического давления, гелеобразования и диффузии на процесс ультрафильтрационного разделения растворов [2-3]. При определении величины гелеобразования и коэффициента диффузии в инженерных расчетах процесса ультрафильтрации необходимо использовать равновесный коэффициент распределения растворенного вещества между растворами и мембраной [4-5], который определяется по экспериментальным данным из сорбционной емкости

ультрафильтрационных мембран или по расчетным значениям потенциала поля поверхностных сил. Потенциал поля поверхностных сил позволяет оценить величину потенциала в пограничном слое и характеризовать сорбционные явления, протекающие на границе раздела фаз и в поровом пространстве полупроницаемой мембраны [6]. Целью данной работы было исследование сорбционной емкости и расчет потенциала поля поверхностных сил ультрафильтрационных мембран УАМ-150 и УПМ-К в водных растворах лаурилсульфата натрия.

Эксперимент

Исследование сорбционной активности мембран проводилось методом переменных концентраций на установке, основными элементами которой являлись весы, стеклянные бюксы, линейка, микрометр и водяной термостат ТС-80М2 с рабочим объемом 0.024 м^3 и диапазоном регулируемой температуры $0 \div 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Для взвешивания использовались аналитические весы типа А-31, обеспечивающие точность $\pm 0.5 \cdot 10^{-7}$ кг. В бюксы ($V = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$) помещали исследуемые образцы мембран и раствор известной концентрации. Методика определения сорбционной активности мембран заключалась в следующем. Вырезали образцы полупроницаемых мембран размером 60×150 мм и измеряли микрометром и линейкой их геометрические параметры. Затем проводили предварительную подготовку мембран к работе, которая состояла в создании давления в ультрафильтрационной установке тупикового типа до получения постоянных значений производительности по дистиллированной воде. После замера толщины мембран микрометром их помещали в бюксы и заливали растворами различных концентраций. Бюксы с растворами и образцами мембран помещали в предварительно выведенный на заданный температурный режим термостат. Через сутки мембраны извлекали из бюксов и измеряли их геометрические размеры. Далее определяли концентрацию раствора в каждом бюксе и рассчитывали массу лаурилсульфата натрия в мембране [7, 8]. Величина отношений концентрации лаурилсульфата натрия в мембране и соответствующей концентрации этого же компонента в фазе, контактирующей с мембраной, является равновесным коэффициентом распределения [9].

Концентрацию растворенного вещества в полимерной мембране определяли по формуле:

$$C_m = m_m / V_m, \quad (1)$$

где m_m – масса растворенного вещества в полимерной мембране; V_m – объем опытного образца мембраны.

Достоверность методики проверяли уравнением материального баланса:

$$C_2 \cdot V_2 = C_m \cdot V_m + C_1 \cdot V_1, \quad (2)$$

где C_m – концентрация лаурилсульфата натрия в мембране; C_1 – концентрация вещества в фазе растворе после процесса сорбции; C_2 – концентрация лаурилсульфата натрия в исходном растворе, контактирующем с мембраной.

Коэффициент распределения рассчитывали по концентрациям растворенного вещества в образцах мембран и в растворах по следующей зависимости:

$$k_p = C_m / C_1, \quad (3)$$

Расчет потенциала поля поверхностных сил проводили по данным равновесного коэффициента распределения k_p [10-11]:

$$U = -RT \ln(k_p), \quad (4)$$

где R - универсальная газовая постоянная, T - температура сорбционного процесса.

Обсуждение результатов

На сорбцию веществ из раствора влияет исходная концентрация и температура. Исследования сорбционной активности ультрафильтрационных мембран УПМ-К и УАМ-150 в водных растворах анионных поверхностно-активных веществ проводились при разных концентрациях и температурах. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1 и 2.

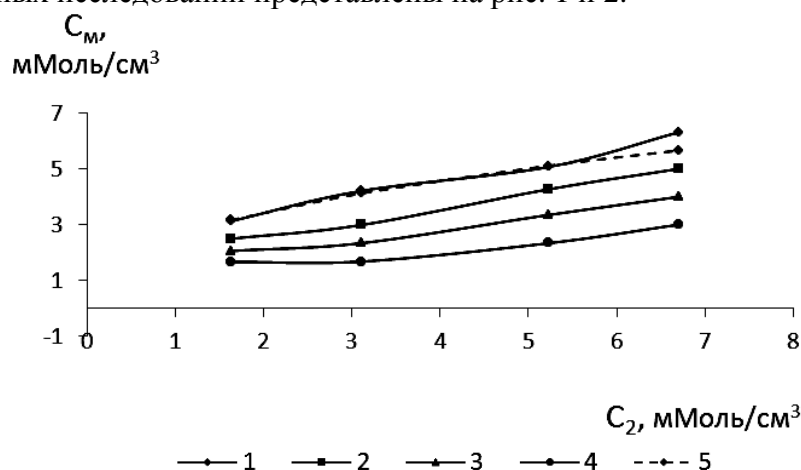


Рис. 1. Зависимость концентрации растворенного вещества в фазе мембраны УПМ-К от концентрации исходного раствора АПАВ: 1 – $T=293\text{K}$, 2 – $T=298\text{K}$, 3 – $T=303\text{K}$, 4 – $T=308\text{K}$, 5 – $T=293\text{K}$ (расч)

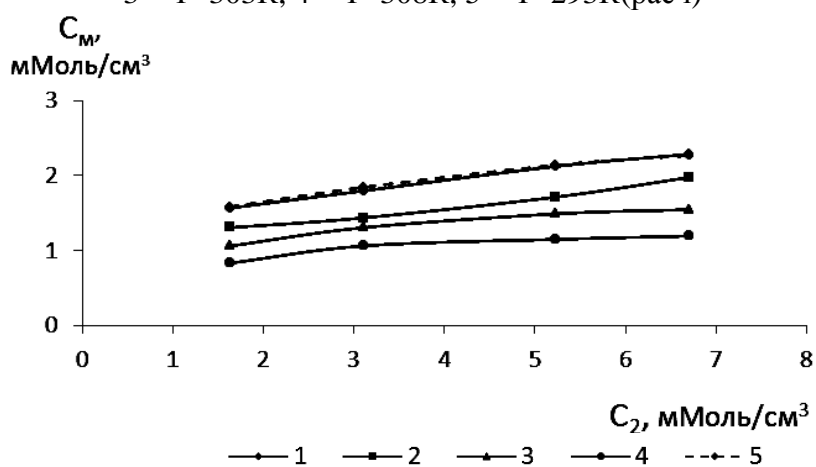


Рис. 2. Зависимость концентрации растворенного вещества в фазе мембраны УАМ-150 от концентрации исходного раствора АПАВ: 1 – $T=293\text{K}$, 2 – $T=298\text{K}$, 3 – $T=303\text{K}$, 4 – $T=308\text{K}$, 5 – $T=293\text{K}$ (расч)

Для аналитического расчета концентрации растворенного вещества в ультрафильтрационной мембране использовали уравнение Фрейндлиха следующего вида:

$$C_m = b \cdot C_2^n \cdot (293 / T)^m \quad (5)$$

Значения эмпирических коэффициентов для теоретического расчета концентрации растворенных веществ в мембране приведены в таблице. Расхождение экспериментальных и расчетных значений по концентрациям лежит в пределах 15%.

Таблица. Значения эмпирических коэффициентов уравнения для расчета концентрации вещества в мембране

Мембрана	b	n	m
УАМ-150	1.1510	0.2902	1.6781
УПМ-К	3.1651	0.4117	1.0360

Установлено, что с ростом концентрации исходного раствора концентрация вещества в мембране для обоих видов мембран увеличивается. Высокая сорбционная способность мембраны УПМ-К по сравнению с мембраной УАМ-150 обусловлены физико-химической природой матрицы полупроницаемых мембран, знаком заряда активного слоя поверхности мембраны (ацетилцеллюлозные мембраны несут отрицательный, а полиамидные – положительный заряды [12]), характером и величиной пор в структуре, а также размером аморфных (кристаллических) областей полимерных полупроницаемых мембран. Известно [13-14], что температура на сорбционную активность пористого материала может влиять как положительно, так и отрицательно. Сорбционная активность с повышением температуры раствора АПАВ на ультрафильтрационных мембранах УПМ-К и УАМ-150 приведенных на рис. 1 и 2 уменьшается.

Свойства растворенного вещества существенно влияют на сорбционную способность мембран. При адсорбции из растворов атомы поверхности адсорбента вступают во взаимодействие с молекулами растворенных веществ и с молекулами растворителя, при этом, чем выше растворимость вещества в растворителе, тем оно меньше адсорбируется сорбентом [14]. При адсорбции полярных поверхностно-активных веществ мембранами из водных растворов [1, 14] атомы радикалов располагаются на поверхности пор активного слоя мембран, а группы, способные образовывать водородные связи с молекулами растворителя (воды) и ионогенные функциональные группы, диффундируют в пограничный слой, т.е. молекулы этих веществ располагаются в нем перпендикулярно поверхности адсорбции. Зависимости расчетного значения потенциала поля поверхностных сил мембран УПМ-К и УАМ-150 от концентрации и температуры исходного раствора АПАВ приведены на рис. 3 и 4.

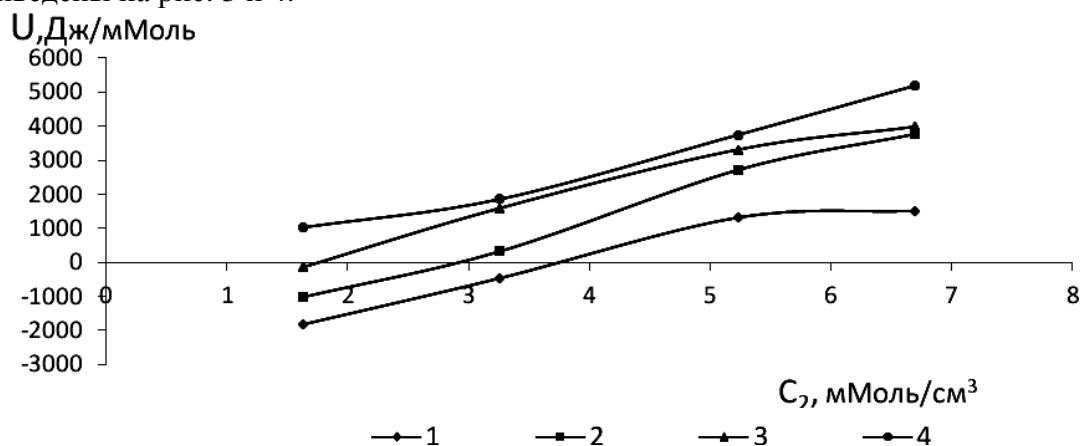


Рис. 3. Зависимости потенциала поля поверхностных сил мембраны УПМ-К от концентрации и температуры исходного раствора АПАВ: 1 – T=293K, 2 – T=298K, 3 – T=303K, 4 – T=308K

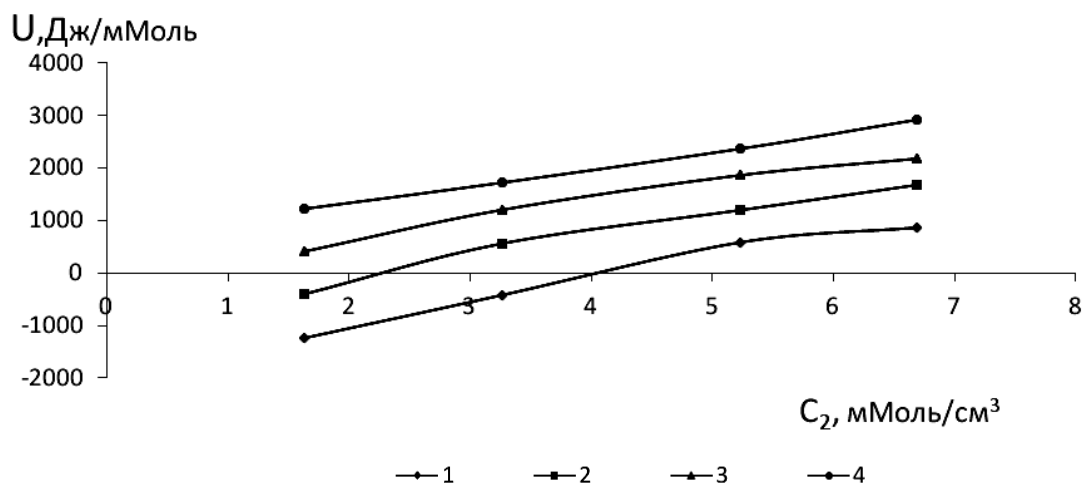


Рис. 4. Зависимости потенциала поля поверхностных сил мембраны УАМ-150 от концентрации и температуры исходного раствора АПАВ:
1 – $T=293K$, 2 – $T=298K$, 3 – $T=303K$, 4 – $T=308K$

С ростом концентрации лаурилсульфата натрия в фазе растворителя и повышением температуры раствора потенциал поля поверхностных сил увеличивается (рис.4). Возрастания потенциала поля поверхностных сил с повышением концентрации можно объяснить ростом потенциальной энергии взаимодействия растворенных веществ со стенками пор мембраны [6]. Повышение температуры для системы мембрана-раствор вызывает рост скорости подвижности ионов и молекул, тем самым возрастает энергия взаимодействия лаурилсульфата натрия с мембраной, что приводит к повышению потенциала поля поверхностных сил по зависимости (4). На потенциал поля поверхностных сил с ростом концентрации и температуры раствора влияет количество функциональных групп, которые повышают заряд мембраны, вследствие чего мембраны проявляют слабые ионные свойства [15-16]. Из расчетных зависимостей видно, что потенциал поля поверхностных сил мембраны УАМ-150 по величине выше, чем у мембраны УПМ-К. Повышенное значение потенциала поля поверхностных сил у мембраны УАМ-150 объясняется выше описанными явлениями, которые для одной мембраны проявляются в большей степени, чем для другой.

Заключение

Исследована сорбционная емкость и получены экспериментальные данные по количеству лаурилсульфата натрия в ультрафильтрационных мембранах УПМ-К и УАМ-150 в зависимости от концентрации и температуры раствора.

Найдены численные значения эмпирических коэффициентов в уравнении Фрейндлиха, что позволяет теоретически определять значения концентрации лаурилсульфата натрия в ультрафильтрационной мембране.

Рассчитан потенциал поля поверхностных сил, позволяющий характеризовать сорбционные явления, протекающие на границе раздела фаз раствор - ультрафильтрационная мембрана.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/219

Список литературы

1. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. М.: Мир. 1999. 513 с.
2. Ершов С.В., Орлов С.И. // *Мембраны и мембранные технологии*. 2013. Т. 3. №3. С. 175-185.
3. Черкасов А.Н., Полоцкий А.Е. // *Мембраны и мембранные технологии*. 2012. Т. 2. № 3. С. 191-198.
4. Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Абоносимов Д.О. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2013. Т. 13. Вып. 2. С. 207-212.
5. Данилова Г.Н., Котов В.В., Горелов И.С. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2004. Т. 4. Вып. 2. С. 226-232.
6. Чураев Н.В., Дерягин Б.В. // *Журн. ВХО*. 1987. Т. 32. Вып. 6. С. 614-619.
7. Лазарев С.И. Научные основы электрохимических и баромембранных методов очистки, выделения и получения органических веществ из промышленных стоков: Дис. ... докт. техн. наук. Тамбов: ТГТУ, 2001. 543 с.
8. Хорохорина И.В., Лазарев С.И. Сборник материалов XIV Конференции Третьего Всероссийского симпозиума с международным участием. Воронеж-2014. С. 327-328
9. Научно-информационный портал «Российское мембранное общество» // Страница журнала «Мембраны и мембранные технологии» [Москва, 2012]. URL: http://www.memtech.ru/images/docs/terminology_membrane_v.01 (24.10.2012).pdf (дата обращения 23.11.2015).
10. Головашин В.Л. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2010. Т. 10. Вып. 2. С. 201-207.
11. Чураев Н.В. Физикохимия процессов массопереноса в капиллярно-пористых телах. М.: Химия. 1990. 272 с.
12. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. Киев.: Наукова думка, 1989. 288 с.
13. Лазарев К.С. Электрохимическая гиперфильтрационная очистка сточных вод от реагентов производства химикатов-добавок: Дис. ... канд. тех. наук. Тамбов: ТГТУ, 2012. 223 с.
14. Когановский А.М., Клименко Н.А. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. Киев: Наукова думка, 1978. 176 с.
15. Сухов Г.Д. Разделение многокомпонентных растворов электролитов методом электроосмофильтрации: Дис. канд. техн. наук. М. 1983. 165 с.
16. Карлин Ю.В. Влияние электрического поля на ионный транспорт через обратноосмотические мембраны: Дис. канд. техн. наук. М. 1984. 179 с.

References

1. Mulder M. Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu (Introduction to membrane technology), M., Mir, 1999, 513 p.
2. Ershov S.V., Orlov S.I., Membrany i membrannye tekhnologii, 2013, Vol. 3, No 3, pp. 175-185.
3. Cherkasov A.N., Polotskii A.E., *Membrany i membrannye tekhnologii*, 2012, Vol. 2, No 3. pp. 191-198.
4. Abonosimov O.A., Lazarev S.I., Abonosimov D.O., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2013, Vol. 13, No 2, pp. 207-212.
5. Danilova G.N., Kotov V.V., Gorelov I.S., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2004, Vol. 4., No 2, pp. 226-232.
6. Churaev N.V., Deryagin B.V., *Zhurn. VKhO*, 1987, Vol. 32, No 6, pp. 614-619.
7. Lazarev S.I. Nauchnye osnovy elektrokhimicheskikh i baromembrannykh metodov ochistki, vydeleniya i polucheniya organicheskikh veshchestv iz promyshlennykh stokov, Dis. ... dokt. tekhn. Nauk, Tambov, TGTU, 2001, 543 p.
8. Khorohorina I.V., Lazarev S.I. Sbornik materialov XIV Konferentsii Tretego Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnyim uchastiem. Voronezh, 2014, pp.327-328
9. Nauchno-informatsionnyy portal, Rossiyskoe membrannoe obschestvo Stranitsa zhurnala, Membrany i membrannye tekhnologii, Moskva, 2012, URL, [http,](http://www.memtech.ru/images/docs/terminology_membrane_v.01)

www.memtech.ru,images,docs,terminology,membrane, v.01. 24.10.2012.

10. Golovashin V.L. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2010, Vol. 10, No 2, pp. 201-207.

11. Bryk M.T., Tsapyuk E.A. *Ul'trafil'tratsiya* (Ultrafiltration), Kiev., Naukova dumka, 1989, 288 p.

12. Churaev N.V. *Fizikokhimiya protsessov massopernosa v kapillyarno-poristykh telakh* (Physicochemistry of massoperenosa processes in capillary-porous bodies), M., Khimiya, 1990, 272 p.

13. Lazarev K.S. *Elektrokhimicheskaya giperfil'tratsionnaya ochestka stochnykh vod ot reagentov proizvodstva khimikatov-dobavok*, Dis. ... kand. tekh. Nauk, Tambov, TGTU, 2012, 223 p.

Лазарев Сергей Иванович - д.т.н., профессор, каф. прикладная геометрия и компьютерная графика, ТГТУ, Тамбов

Хорохорина Ирина Владимировна – аспирант, каф. Прикладная геометрия и компьютерная графика, ТГТУ, Тамбов

14. Koganovskii A.M., Klimenko N.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy izvlecheniya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv iz vodnykh rastvorov i stochnykh vod* (Physicochemical principles of extraction of surfactants from aqueous solutions and wastewater), Kiev, Naukova dumka, 1978, 176 p.

15. Suhov G.D. *Razdelenie mnogokomponentnykh rastvoprov elektrolitov metodom elektroosmofiltratsii*, Dis. kand. tehn. Nauk, M, 1983, 65 p.

16. Karlin Yu.V. *Vliyanie elektricheskogo polya na ionnyiy transport cherez obratnoosmoticheskie membranyi*, Dis. kand. tehn. Nauk, M, 1984, 179 p.

Lazarev Sergey I. - Dr.Sci.Tech., the professor, chair Applied geometry and a computer drawing, TSTU, Tambov, geometry@mail.nnn.tstu.ru

Khorokhorina Irina V. - PhD student, chair Applied geometry and a computer drawing, TSTU, Tambov, kotelnikovirina@yandex.ru