

УДК 544.722

## КИНЕТИКА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ БЕЛОФОРСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ

Вязовов С.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
г. Тамбов

В настоящее время в мире мембранные технологии получили интенсивное развитие. Они достаточно часто применяются для концентрирования и разделения растворов солей в разных отраслях промышленности [1]. При изготовлении оптических отбеливателей, получается большое количество промышленных растворов, содержащих белфор, которые для дальнейшего использования должны быть сконцентрированы [2, 3]. Для выбора оптимальных условий проведения процесса мембранного концентрирования и последующей разработки новой технологической схемы, необходимо исследовать кинетические характеристики мембранного процесса и влияние на них различных факторов. В данной работе делается попытка установить закономерности кинетики обратноосмотического концентрирования промышленных растворов содержащих белфор для изучения возможностей интенсификации данного процесса

При изучении кинетических характеристик процесса обратноосмотического концентрирования растворов содержащих белфор использовались различные типы промышленных обратноосмотических мембран производства ООО «Владипор» г. Владимир.

В качестве объектов исследования использовались промышленные растворы, процесса получения полупродуктов в производстве оптических отбеливателей на промышленных объектах ОАО «Пигмент» г. Тамбов. Далее представлены результаты по исследованию важнейшей характеристики мембранного процесса концентрирования - коэффициента задержания. Изучение данной кинетической характеристики мембран проводилось на экспериментальной обратноосмотической установке рис. 1. Основным рабочим элементом экспериментальной обратноосмотической установки служит плоскокамерная ячейка 4. Из ёмкости 1, через систему трубопроводов с регулирующими вентилями, раствор под давлением, создаваемым плунжерным насосом НД 100/63 3, поступает в камеру концентрирования плоскокамерной ячейки 4. Частично разделенный раствор, пройдя вентиль 13, ячейку 4, вентиль 5 и ротаметр 6, возвращаются обратно в ёмкость 1. Давление раствора в установке обеспечивается с помощью образцовых манометров 10 и 11, и для контроля и регулирования давления - электроконтактный манометр 12. Для исследования влияния пульсации давления раствора на процесс концентрирования в плоскокамерной ячейки 4 предусмотрен датчик ЛХ-409 18, крейтовая система сбора данных с датчиков и управления LTC-002 19, ПЭВМ 17. Для

поддержания в установке заданной температуры предусмотрены водяной термостат 16, для измерения температуры термопара 15, потенциометр 14.

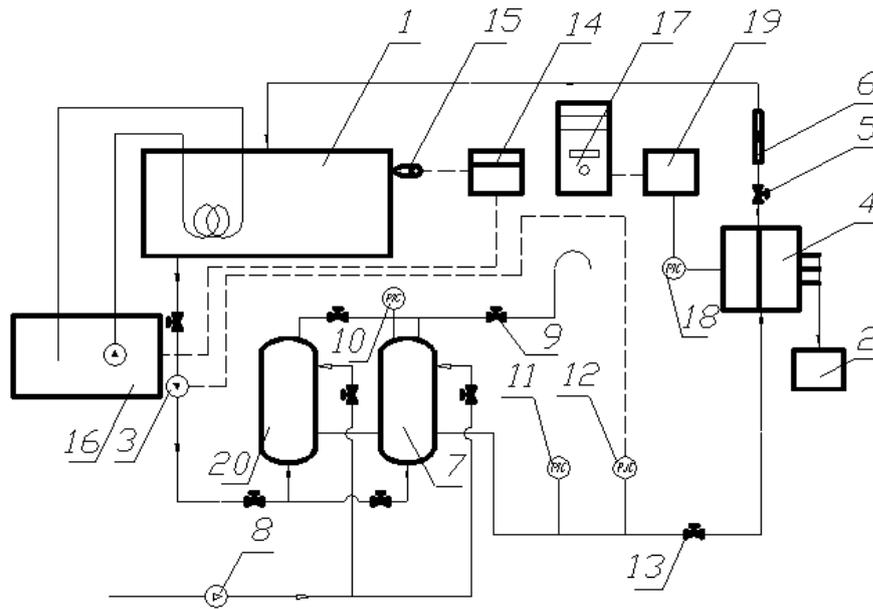


Рисунок 1

Схема экспериментальной обратноосмотической установки

Пермеат, образующийся в процессе мембранного концентрирования, собирается в ёмкость 2. В установке предусмотрена регулирование давления с помощью вентиля 5. Предусмотрен так же аварийный сброс давления в системе с помощью вентиля 9. Для создания в системе пульсации давления раствора и варьировании величины пульсаций давления в установке находится система ресиверов 7 и 20, цилиндрические сосуды объемом  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , предварительно заполненные сжатым воздухом с помощью компрессора 8, до давления 10...40 % от рабочего.

Значение коэффициента задержания  $K$  рассчитывается по формуле

$$K = 1 - (C_{\text{пер}} / C_{\text{исх}}) \quad (1)$$

Исследования коэффициента задержания происходило при варьировании внешних факторов (давления, концентрации) на процесс концентрирования. В качестве объектов исследования были промышленные мембраны ESPA-1, МГА-95П, ОПМ-КМ, промышленные растворы оптических отбеливателей КД-2, ОБ-жидкий, концентрация белочных 20,9; 45; 65,8 кг/м<sup>3</sup>. Результаты обработки экспериментальных значений представлены на рис. 2 (а, б).

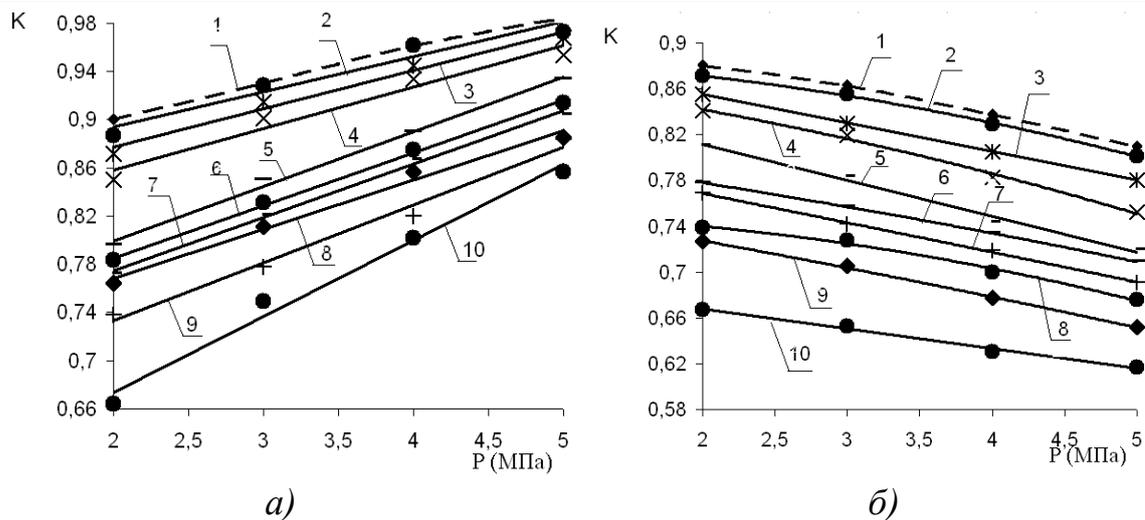


Рисунок 2

Значения коэффициента задержания мембран в зависимости от рабочего давления и исходной концентрации растворов оптических отбеливателей:

*a* – ОБ-жидкий; *б* – КД-2;

Экспериментальные данные: ESPA-1, 2 –  $C_{исх} = 20,9 \text{ кг/м}^3$ , 3 –  $C_{исх} = 45 \text{ кг/м}^3$ , 4 –  $C_{исх} = 65,8 \text{ кг/м}^3$ ; ОПМ-КМ, 5 –  $C_{исх} = 20,9 \text{ кг/м}^3$ , 6 –  $C_{исх} = 45 \text{ кг/м}^3$ , 7 –  $C_{исх} = 65,8 \text{ кг/м}^3$ ; МГА-95П, 8 –  $C_{исх} = 20,9 \text{ кг/м}^3$ , 9 –  $C_{исх} = 45 \text{ кг/м}^3$ , 10 –  $C_{исх} = 65,8 \text{ кг/м}^3$ . Расчетные данные: ESPA-1, 1 –  $C_{исх} = 20,9 \text{ кг/м}^3$

Выявлены следующие закономерности: с увеличением величины давления происходит увеличение коэффициента задержания мембран для всех исследованных типов мембран, что объясняется следствием преобладания конвективного механизма переноса, являющемся основной движущей силой процесса, над диффузионным [4]. Коэффициент задержания для мембраны обратноосмотической ESPA-1 при схожих внешних факторах на порядок выше, чем для мембраны обратноосмотической ОПМ-КМ и на несколько порядков выше для мембраны обратноосмотической МГА-95П. Это объясняется разной величиной пористости активного слоя обратноосмотической мембраны, разными знаками зарядов поверхностей мембран, с разным геометрическим расположением и распределением пор в соответствующих радиусах в примембранном активном слое, наличием ощутимого различия в природе структурных характеристик мембран и их материалов и [1, 4, 5].

На рис. 2 (б), в данных по раствору оптического отбеливателя КД-2, для всех изученных обратноосмотических мембран коэффициент задержания уменьшается при увеличении давления. Это объясняется уменьшением доли воды в рабочих и в пограничных слоях обратноосмотической мембраны. Коэффициент задержания так же уменьшается из-за того, что при увеличении перепада давления возникает временная концентрационная поляризация, что в свою очередь приводит к забиванию пор растворенным веществом и снижению адсорбционных свойств обратноосмотической мембраны [5]. Было проведено исследование влияния на коэффициент задержания мембран изменение давления раствора с разными исходными концентрациями раствора оп-

тических отбеливателей КД-2, ОБ-жидкого. При увеличении концентрации белочных ОБ-жидкого и КД-2 коэффициент задержания для мембран обратноосмотических ESPA-1, МГА-95П, ОПМ-КМ понижается. Данное увеличение концентрации белочных ОБ-жидкого и КД-2 приводит к увеличению концентрации растворенных веществ, что в свою очередь приводит к увеличению осмотического давления раствора, а это явление понижает движущую силу процесса и влечет за собой увеличение такого параметра, как вязкость раствора.

Коэффициента задержания мембран  $k$  рассчитывался с помощью модифицированной формулы, полученной посредством преобразований, на основе предложенной Б.В. Дерягиным, Н.В. Чураевым, Г.А. Мартыновым, В.М. Старовым [6]:

$$k = 1 - \frac{\Delta\mu}{1 + \left( \frac{1}{k_p k_1} - 1 \right) \left[ 1 - \exp\left( -\frac{G h k_p k_2}{P_d} \right) \right] \exp\left( -\frac{G 0,00021 k_3}{P \sqrt{w}} \right)}, \quad (2)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, находящиеся в зависимости от типа исследуемого раствора и вида обратноосмотической мембраны;  $k_p$  – коэффициент распределения;  $\Delta\mu$  – коэффициент, для учёта влияния наложения поля пульсации давления раствора на коэффициент задержания мембраны.

Значения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$  полученные в результате обработки экспериментальных данных для исследованных растворов оптических отбеливателей КД-2 ОБ-жидкого, и мембран обратноосмотических ESPA-1, МГА-95П, ОПМ-КМ представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 Коэффициенты  $k_1, k_2, k_3$  для ОБ-жидкого

Исследуемая мембрана	Исследуемый Раствор	$k_1$	$k_2$	$k_3$
МГА-95П	ОБ-жидкий	$0,68 \cdot 10^{-3}$	0,058289	1,111142
ESPA-1		$9,64 \cdot 10^{-6}$	$1,3969 \cdot 10^{-5}$	0,539192
ОПМ-КМ		$6,09 \cdot 10^{-3}$	0,008975	0,488309

Таблица 2 Значения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$  для КД-2

Исследуемая мембрана	Исследуемый Раствор	$k_1$	$k_2$	$k_3$
МГА-95П	КД-2	0,351	3,01350775	2,54011208
ESPA-1		0,154	0,3563805	1,3
ОПМ-КМ		$8,74 \cdot 10^{-6}$	$1,8423 \cdot 10^{-5}$	0,8483523

Сравнение экспериментальных значений с расчетными данными показало совпадение с погрешностью не превышающей 10%.

На основе анализа полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что значительное влияние на коэффициент задержания обратноосмотических мембран производят такие параметры процесса как: природа

растворенного вещества и тип обратноосмотической мембраны, концентрация растворенного вещества, давление в системе и температура раствора [1, 4, 7, 8].

### Список литературы:

1. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию [Текст] / М. Мулдер; Пер. с англ. – М.: Мир, 1999.– 513с., ил.
2. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования [Текст] / Б.Е. Рябчиков – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328с.
3. Субочева, М.Ю. Экологические аспекты снижения стоков в производстве органических пигментов [Текст] / М.Ю Субочева // В сборнике: экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения сборник трудов Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2016. – С. 70–75
4. Хванг, С.-Т. Мембранные процессы разделения [Текст] / С.-Т Хванг, К. Каммермейер; Пер. с англ. Е.П. Моргуновой, Ю.Н. Жилина под ред. проф. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1981.– 464с.
5. Rautenbach, R. Membrane Processes [Текст] / R. Rautenbach, R. Albrecht. –New York: John Wiley, 1989. – 470 p.
6. Старов, В.М. Теория разделения растворов методом обратного осмоса. [Текст] / В.М. Старов, Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Г.А. Мартынов. – М.: Химия и технология воды. – 1980, т. 2, №2, С. 99-104.
7. Когановский, А.М. Адсорбция растворенных веществ [Текст] / А.М. Когановский, Т.М. Левченко, В.А. Кириченко и др. – К.: Наукова думка, 1977. – 223с.
8. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии. [Текст] / С.С. Воюцкий. – 2-е. изд., – М.: Химия, 1976. – 512с.