

Установка состоит из двухкамерной, термостатируемой ячейки, измерительных капилляров (13, 14), емкостей для исходных (2, 4) и отработанных (3, 5) растворов, двух опорных решеток (15), изготовленных из оргстекла. Основным элементом установки является ячейка, состоящая из двух камер, I и II, которые разделены исследуемой мембраной (1). Перемешивание в камерах I и II осуществляется с помощью магнитных мешалок (6, 7). Для поддержания необходимой температуры растворов в обе камеры были встроены змеевиковые теплообменники (16, 17), в которых циркулировала вода из термостатов (12, 19). Контроль за температурой растворов в камерах I и II осуществляется с помощью терморпар (8, 9) градуировки ХК, подключенных к потенциометрам (10, 18). Объем камер ячейки $0,62 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, рабочая площадь мембран составляла $26,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Материал выполнения камер I и II – оргстекло.

Исследования по определению диффузионной проницаемости осуществляются по следующей методике. Сначала мембраны подготавливались следующим способом: их выдерживали в дистиллированной воде 24 ч.

Предварительно подготовленная таким способом мембрана размещается в установке для ультрафильтрационного разделения [3], заполненной дистиллированной водой, и обжимается при рабочем давлении в течение 4 часов. Затем мембрана извлекается из установки и размещается в ячейке для исследования диффузионной проницаемости. Камера I заполняется раствором определенной концентрации, а камера II – дистиллированной водой. Для установления стационарного диффузионного и осмотического потоков 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, как и в предшествующем опыте: камеру I заполняют раствором той же концентрации, а камеру II – дистиллированной водой, и проводится опыт по определению диффузионной проницаемости. Продолжительность эксперимента составляет 5 ч. По завершению эксперимента проводят отбор проб из камер через емкости отработанных растворов 3 и 5. Во время опыта осуществляется интенсивное перемешивание растворов магнитными мешалками.

Количество воды, прошедшее через мембрану 1, и интенсивность ее осмотического переноса в камеру II измеряются по уменьшению объема в измерительном капилляре (11) и увеличению объема в измерительном капилляре (12).

Коэффициент диффузионной проницаемости рассчитывается по формуле:

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

где P_d – коэффициент диффузионной проницаемости ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); V_2 – объем исследуемого раствора (м^3); δ – толщина мембраны (м); S – рабочая поверхность мембраны (м^2); C_1 – концентрации растворенного вещества в исходном растворе ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$); C_2 – концентрации растворенного вещества, перешедшего через мембрану ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$); τ – время проведения эксперимента (с).

Полученная зависимость диффузионной проницаемости от концентрации и температуры имеет более плавный характер, аппроксимировалась функцией вида:

$$P_d = A \exp\left(\frac{B}{T - T_0}\right) \quad (2)$$

где P_d – коэффициент диффузионной проницаемости ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); A , B , m – эмпирические коэффициенты; C – концентрация растворенного вещества в исходном растворе ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$); T – рабочая температура (К); T_0 – начальная температура (К).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После обработки экспериментальных данных были получены конкретные значения коэффициентов A , B , m для исследованных растворов и мембран (табл. 1).

Зависимости коэффициента диффузионной проницаемости мембран УПМ-100 и УФМ-100 от начальной концентрации и температуры раствора беллофора ОЦД представлены на рис. 2–3.

Для всех исследованных мембран с увеличением концентрации беллофора ОЦД диффузионная проницаемость падает. Также видно, что для мембран УФМ-100 диффузионная проницаемость на несколько порядков меньше, чем для мембран УПМ-100. Возможно, это связано с тем, что на величину и на вид зависимостей диффузионной проницаемости от концентрации внешнего раствора основное влияние оказывает природа мембран и распределение пор по радиусу в слое мембран. Для мембран УПМ-100 при небольших концентрациях, вероятно, преобладающее значение имеют сорбционные факторы. С увеличением концентрации внешнего раствора поровое пространство уменьшается, а т. к. проницание через ультрафильтрационные мембраны осуществляется в основном вязким течением через поры, а проницание через материал мембраны, вероятно, пренебрежимо мало, то диффузионная проницаемость также уменьшается. Увеличение концентрации растворенных веществ приводит к снижению эффективности движущей силы процесса и возрастанию вязкости. Все это также вызывает снижение диффузионной проницаемости.

Установлено, что с повышением температуры раствора беллофора ОЦД диффузионная проницаемость

Таблица 1

Значения коэффициентов A , B , m

| Мембрана | Раствор | $A \cdot 10^{13}$ | B | m |
|----------|---------------------|-------------------|----------|----------|
| УПМ-100 | Беллофор ОЦД – вода | 9,21765 | -0,00621 | 19,55583 |
| УФМ-100 | | 11,45907 | -0,00436 | 21,77106 |

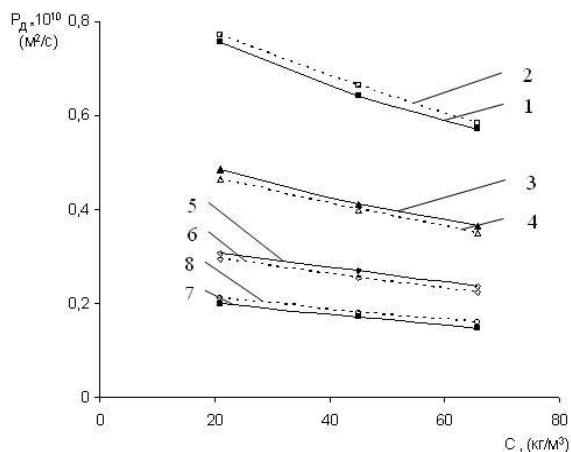


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости мембраны УПМ-100 P_d ($\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$) от исходной концентрации белофора ОЦД в растворе C ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$). Эксперимент – температура (К): 1 – 313, 3 – 305, 5 – 298, 7 – 293. Аппроксимация – температура (К): 2 – 313, 4 – 305, 6 – 298, 8 – 293

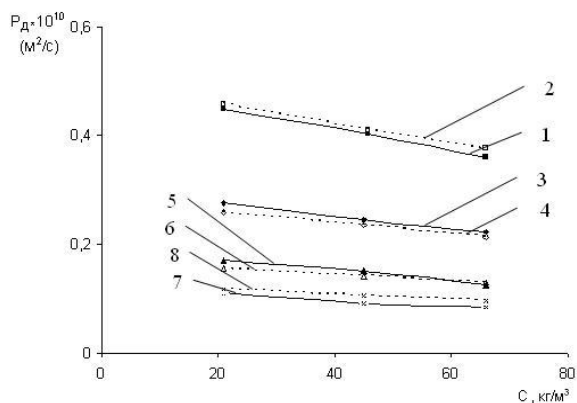


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости мембраны УФМ-100 P_d ($\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$) от исходной концентрации белофора ОЦД в растворе C ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$). Эксперимент – температура (К): 1 – 313, 3 – 305, 5 – 298, 7 – 293. Аппроксимация – температура (К): 2 – 313, 4 – 305, 6 – 298, 8 – 293

всех исследованных мембран увеличивается, что соответствует общепринятым представлениям [4]. С увеличением температуры вязкость растворов несколько падает, и также происходит разрушение объемных структур раствора диффузионных и пограничных слоев мембраны, что, в свою очередь, тоже влияет на увеличение диффузионной проницаемости мембран [5].

Сравнение экспериментальных и расчетных значений диффузионной проницаемости раствора бело-

фора ОЦД, приведенных на рис. 2–3, показало, что погрешность расчета находится в допустимых пределах ($\pm 15\%$).

ВЫВОДЫ

Проведены экспериментальные исследования диффузионной проницаемости различных типов промышленных мембран при разделении модельных растворов белофора ОЦД с учетом влияния на них концентрации и температуры раствора. Установлено, что с повышением температуры раствора белофора ОЦД диффузионная проницаемость всех исследованных мембран увеличивается. Для всех исследованных мембран с увеличением концентрации белофора ОЦД диффузионная проницаемость падает. Таким образом, полученные в результате проведенных экспериментов данные могут использоваться в качестве рекомендаций при разработке систем обезжелезивания на основе мембранной ультрафильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
2. Первов А.Г., Мотовилова Н.Б., Андрианов А.П. Ультрафильтрация – технология будущего // Водоснабжение и сантехника. 2001. № 9.
3. Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Исследование диффузионной и осмотической проницаемости полимерных мембран. Тамбов, 1989. 12 с. Деп. ОНИИТЭХИМ 21.08.1989. № 807-хп 89.
4. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
5. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. Status after 10 years of operation – overview of UF technology today // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3–6 October). 2000. V. 1.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке целевой федеральной программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Поступила в редакцию 3 марта 2012 г.

Bogomolov V.Yu., Vyazov S.A., Lazarev S.I. DIFFUSION PENETRATION OF POLYMER MEMBRANE IN WATER SOLUTIONS OF BELOFOR OTSD

The research results of diffusion penetration of ultra-violet membranes UPM-100 and UFM-100 are given. The dependencies of diffusion penetration coefficients of these membranes from concentrations and temperatures in water solutions of belofor OTSD are revealed.

Key words: membrane; diffusion penetration.