

## Влияние малой разности температур на поверхностях мембраны на направление и эффективность осмотического процесса.

Г.Н.Фрейберг, Г.И.Лапушкин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящее время для промышленных целей широко используются технологии осмотической мембранной дистилляции (ОМД). Но сама технология является затратной, так как дорогие мембраны с наноразмерными порами являются расходным материалом и требуют регулярной замены. Также при промышленном обратном осмосе требуются высокие рабочие давления (порядка 10 -80 атмосфер), что приводит к использованию дорогостоящих насосов с большим рабочим напором и, соответственно, с большим энергопотреблением.

Данная работа продолжает серию статей, в которой изучается возможность удешевления себестоимости ОМД за счет изменения параметров процесса.

Как доказано в [1], практически возможно осуществить процессы прямого и обратного осмоса с помощью мембраны с крупными порами - до 1мкм, что существенно (на порядки) превышает размеры растворенных молекул. Основное условие работоспособности такой мембраны – гидрофобность в широком температурном диапазоне. Помимо этого в работах [1,2] показано, что увеличение рабочей температуры растворов позволяет во много раз увеличить пропускную способность мембран.

В работе [1] был проведен предварительный расчет, согласно которому для регулировки направления и скорости осмотического переноса растворителя можно вообще не использовать избыточное давление, достаточно просто поддерживать разность температур на поверхностях мембраны. Расчет был выполнен в предположении, что пора мембраны представляет собой канал, в котором получен технический вакуум, так что давление во внутреннем объеме поры практически равно давлению насыщенного водяного пара. Диаметр поры таков, что при наличии гидрофобной стенки поверхностное натяжение воды не позволяет воде затекать внутрь поры; согласно [3] максимально допустимый эффективный диаметр поры можно оценить в 2мкм. В этом случае процессы переноса воды сквозь канал поры состоят из испарения, диффузии и конденсации с учетом кривизны менисков с обеих сторон поры. Согласно результатам численного расчета [1] получается, что достаточно обеспечить разность температур на мембране больше 0,5К, чтобы обеспечить наличие обратного осмоса в диапазоне рабочих температур вплоть до 80°C. При этом вообще не требуется создавать избыточное давление и соответственно не требуется применение мощных насосов.

Создание даже небольшой разности температур на мембране может вызвать существенные потери энергии, так как мембрана достаточно тонкая и высокий теплообмен между концентратом и пермеатом может приводить к значительным тепловым потокам. Но так как речь идет о низкопотенциальном тепле, которое нередко просто сбрасывается в окружающую среду, это гарантирует существенное снижение затрат по сравнению с затратами на электроэнергию для насосов.

В настоящей работе ставилась цель проверить выводы работы [1] о влиянии разности температур на направление ОМД. Итоги проведенной работы хорошо видны на графиках. Из первого графика видно, что при наличии разности концентраций и отсутствии разности давлений идет стабильный осмотический процесс. В диапазоне времени 4,5-6,5 часов шел прогрев пермеата горячей водой – что почти сразу вызвало резкий многократный рост скорости осмоса, скорость поддерживалась стабильно все время, пока шел нагрев около двух часов; после прекращения нагрева скорость осмоса восстановилась. При охлаждении пермеата льдом осмотический процесс изменил направление на противоположный и превратился в обратный осмос; процесс также устойчиво продолжался в течении двух часов, пока продолжалось охлаждение. Нужно отметить, что при указанных концентрациях для обеспечения процесса обычным способом необходимо подать избыточное давление в систему более 17 атм.

Оценки дают довольно низкую полученную производительность процесса 3-4л/сутки на кв.м мембраны (Рис.2). Но нужно учесть, что результат был получен в лабораторной установке в рамках проверки работоспособности данного принципа ОМД, существующая установка не позволяет проводить оптимизацию параметров процесса. Кроме того, увеличение рабочей

температуры до 80°C может увеличить производительность примерно на порядок до 30-40л/сутки. Но как показывают расчеты [3], и это далеко не предел возможностей данной технологии.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что можно осуществлять обратный осмос на крупнопористых мембранах без избыточного давления методом обеспечения технического вакуума в порах и создания малой разности температур на мембране, полученный результат имеет важное прикладное значение.

Работа была выполнена на мембране PTFE со средним размером пор 0,45мкм и концентрацией поваренной соли около 0,7 моль/литр (в морской воде в среднем 0,6 моль/литр).

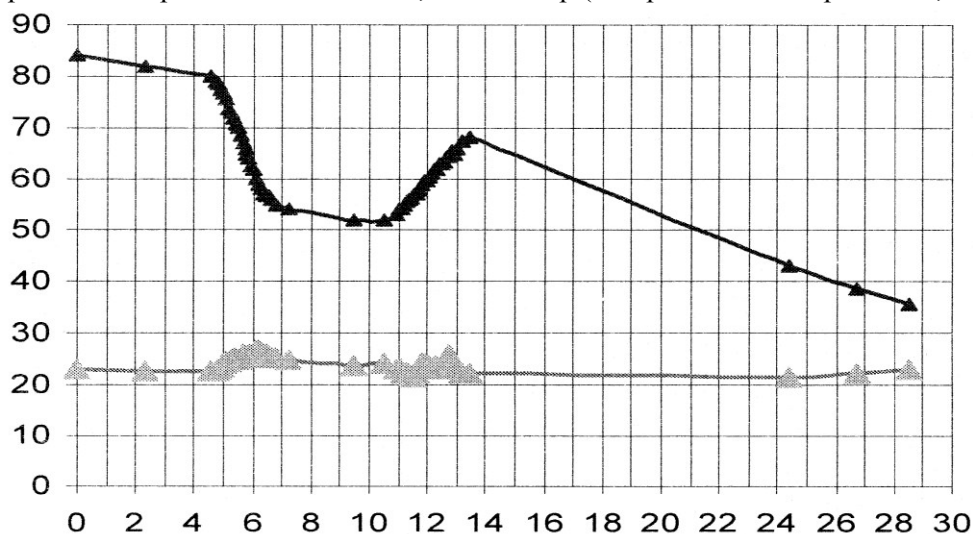


Рис.1. Изменение уровня пермеата через мембрану в процессе осмоса. По оси Y - уровень пермеата в мм. По оси X – время в часах. Первые 4.5 часов – обычный осмос за счет разности концентраций. На интервале 4.5-6.5 производился нагрев пермеата примерно до  $t^{\circ}=50^{\circ}\text{C}$ , при этом производительность осмоса значительно увеличилась. Через некоторое время на интервале 10.5-13.5 часов производилось охлаждение пермеата с помощью льда, в эти два часа происходил интенсивный обратноосмотический процесс. Светло-серым цветом показана температура раствора в градусах Цельсия, видно, что изменение температуры незначительное при таком сильном эффекте.

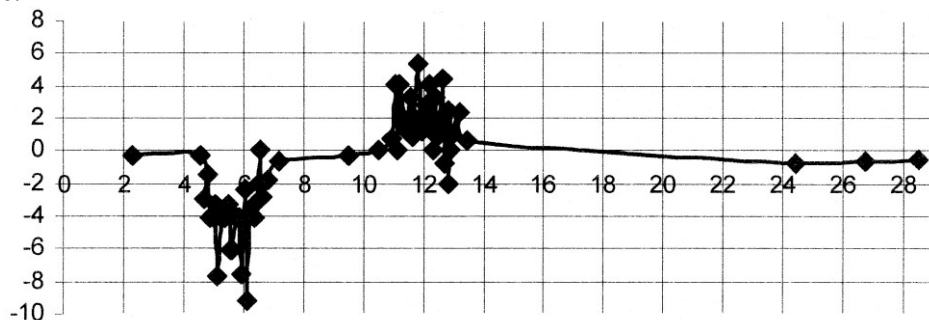


Рис.2. Изменение скорости осмотического процесса в зависимости от разности температур на мембране. По оси Y – производительность в л/кв.м в сутки, по оси X – время в часах. График синхронизирован с предыдущим по времени. Видно, что расход многократно увеличивается при появлении разности температур, причем можно менять направление процесса.

Литература.

1. Фрейберг Г.Н. Экспериментальные и теоретические исследования эффективности применения вакуума в осмотической мембранной дистилляции. // Мембраны и мембранные технологии. 2013. Т 3, № 4. С. 301–307.
2. Jianhua Zhang // Theoretical and experimental investigation of membrane distillation. 2011.
3. Фрейберг Г.Н. // Труды МФТИ. 2011. Т. 3, № 3. С. 45.