

Лекция 16

Обратный осмос и ультрафильтрация

Методы обратного осмоса и ультрафильтрации заключаются в фильтровании растворов через специальные полупроницаемые мембраны. При этом либо мембрана пропускает только молекулы растворителя (воды), либо частично с растворителем проходят ионы и молекулы задерживаемых веществ. При обратном осмосе осуществляется отделение частиц (молекул, гидратированных ионов), размеры которых сопоставимы с размерами молекул растворителя, тогда как при ультрафильтрации минимальные размеры задерживаемых частиц на порядок больше, причем максимальные их размеры не должны превышать 0,5 мкм.

Если частицы имеют размеры более 0,5 мкм, для их отделения необходимо применять собственно фильтрование. Иногда нижний предел частиц, удаляемых ультрафильтрацией, характеризуют их молекулярной массой, равной 500.

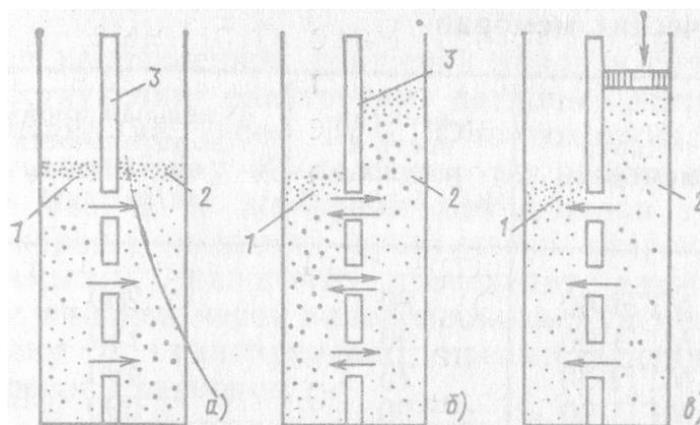


Рис. 7.1. Принципиальная схема прямого и обратного осмоса:

а – начало осмотического переноса; б – равновесное состояние; в - обратный осмос; 1 – пресная вода; 2 – соленая вода; 3 - мембрана

В основу процесса обратного осмоса (рис. 7.1) положено явление осмоса – самопроизвольного перехода растворителя через специальную

полупроницаемую перегородку в раствор. Если какую-либо ячейку разделить мембраной и залить левую часть чистой водой, а правую раствором, то будет наблюдаться самопроизвольный переход молекул воды из левой части в правую. Движущей силой процесса при этом является разность концентраций воды в левой и правой частях ячейки. При этом уровень воды в левой части ячейки будет понижаться, а в правой – повышаться. Вследствие возникновения гидравлического напора за счет разности уровней воды в обеих частях ячейки вода будет переходить из правой части ячейки в левую, причем скорость перехода воды слева направо будет падать вследствие убывания разности концентраций примесей по обе стороны мембраны (разбавление раствора в правой части ячейки), а скорость перехода воды справа налево будет возрастать из-за увеличения разности уровней по обе стороны мембраны. Естественно, что при определенном гидростатическом давлении наступит равновесие такой системы, когда уровни в обеих частях ячейки не будут изменяться. Гидростатическое давление, соответствующее равновесному состоянию такой системы, называется осмотическим давлением. Если со стороны раствора приложить внешнее давление, превышающее осмотическое, то скорость перехода воды из раствора будет большей, чем воды в раствор. Таким образом, движущая сила процесса обратного осмоса с учетом того, что мембраны обычно пропускают некоторое количество ионов вместе с водой и фильтрат представляет собой раствор, но значительно менее концентрированный, чем исходный. Осмотическое давление зависит от химической природы растворенного вещества и его концентрации. При разделении воды и растворенных в ней примесей требуются затраты энергии не менее определенного ее количества, равного необходимому для обратимого отделения воды. Минимальная энергия, требующаяся для обратимого переноса 1 моля воды через мембрану, например при разделении морской воды, оценивается в 45,2 Дж/моль. Это значение получено термодинамическим расчетом и поэтому справедливо для любых процессов разделения морской воды. Поскольку в

реальных процессах производительность установок должна быть технологически приемлемой, то и рабочее давление в них должно значительно превосходить осмотическое. Обычно рабочее давление поддерживается в интервале 5-8 МПа.

В растворах, содержащих высокомолекулярные вещества с максимальным диаметром частиц 0,5 мкм, осмотическое давление пренебрежимо мало. Для их разделения применяют процесс ультрафильтрации на специальных мембранах, пропускающих лишь воду, ионы и молекулы низкомолекулярных соединений. В этом случае рабочее давление в аппарате не превышает 0,5 МПа.

Обратный осмос и ультрафильтрация принципиально отличны от процессов фильтрования, так как при их осуществлении образуется не осадок, как при фильтровании, а лишь два раствора с разными концентрациями примесей. Образование же осадка на мембранах недопустимо во избежание их засорения и снижения эффективности работы.

Несмотря на кажущуюся простоту процесса обратного осмоса и ультрафильтрации до настоящего времени нет единого взгляда на механизм перехода воды через мембраны. Существует несколько гипотез, объясняющих процесс отделения воды от солей при фильтровании воды через мембрану: гиперфильтрационная, сорбционная, диффузионная, электростатическая и др. Среди них наибольшее применение имеют две первые гипотезы. Согласно сорбционной модели механизм перехода воды через мембрану заключается в адсорбировании на поверхности мембраны и в ее порах молекул воды. В результате чего образуется слой пресной воды. Считается, что вода в этом слое обладает аномальными свойствами: почти полной потерей растворяющей способности, пониженной подвижностью. При диаметре пор мембраны диаметром менее 2 д.н. через них будет проходить только воды, а растворенные вещества будут задерживаться. Большинство советских исследователей придерживаются гиперфильтрационной гипотезы, согласно которой в полупроницаемой

мембране имеются поры с диаметром, достаточным чтобы пропускать молекулы воды, но малые для прохождения гидратированных ионов и молекул растворенных веществ. Однако в реальных мембранах невозможно практически создать поры одинакового размера и поэтому всегда имеются крупные поры, через которые могут проходить кроме молекул воды также и гидратированные ионы, что и объясняет явление селективности. Таким образом, если мембрана разделяет чистую воду и раствор, то в какой-то момент времени растворенная в воде частица может перекрыть полностью пору в мембране для прохода воды, но в другой момент времени частица скачком откроет пору для молекулы воды.

Эффективность процессов обратного осмоса и ультрафильтрации в значительной степени определяется свойствами применяемых мембран, которые должны отвечать следующим требованиям: он должен обладать высокой разделяющей способностью (селективностью), высокой удельной проницаемостью, устойчивостью к действию среды, неизменностью характеристик в процессе эксплуатации, достаточной механической прочностью, иметь низкую стоимость.

Проницаемость зависит от состава раствора, внешнего давления и типа мембраны. При эксплуатации под влиянием высокого давления воды и засорения мембран их проницаемость снижается.

Селективность разделения зависит как от свойств мембраны, так и от свойств разделяемых веществ, в частности от диаметров ионов в гидратированном состоянии. Она увеличивается с возрастанием этих диаметров. Установлено, что селективность мембраны улучшается с увеличением заряда ионов. При движении раствора над мембраной происходит непрерывный отток воды через нее и концентрация примесей в потоке возрастает. При этом максимальная концентрация наблюдается у поверхности мембраны. Повышение концентрации солей у поверхности мембраны приводит к увеличению осмотического давления и возможности образования осадка на мембране.

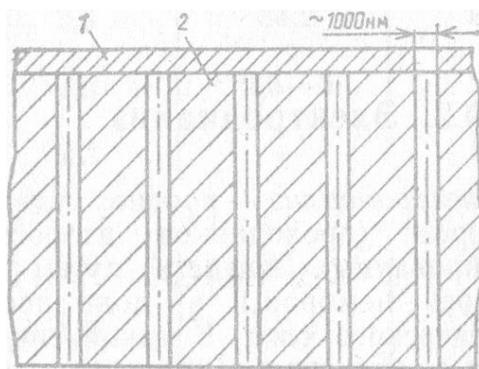


Рис. 7.2. структура ацетилцеллюлозной мембраны:

1 – активный слой; 2 – поддерживающий слой

Наибольшее распространение получили в настоящее время пористые синтетические мембраны, которые получают введением в полимер добавок с последующей операцией вымывания или удаления растворителей из растворов полимеров в условиях, препятствующих усадке каркасной структуры полимера. Наибольшее распространение получили анизотропные ацетилцеллюлозные мембраны (рис. 7.2), получаемые коагуляционным путем. Хорошие свойства таких мембран объясняются высокой способностью ацетата целлюлозы к пленкообразованию, высокой проницаемостью для воды и низкой для большинства водорастворимых соединений. Для ультраfiltrации применяются в основном полиэлектролитные мембраны. По структуре они аналогичны ацетилцеллюлозным, но имеют относительно большой диаметр пор. В последнее время в промышленности применяются следующие аппараты для обратного осмоса и ультраfiltrации с плоскими мембранами, с трубчатыми мембранами, которые укладываются внутри перфорированных трубок, со спиралевидными (рулонными) мембранами, с мембранами в виде полых волокон. Разнообразие фильтрующих элементов и аппаратов объясняется, прежде всего, стремлением упаковать в единицу объема аппарата как можно большую фильтрующую поверхность, чтобы снизить его габариты, а также желанием учесть эксплуатационные возможности для проведения процесса обратного осмоса.

В настоящее время аппараты для очистки воды методом обратного осмоса используются как в схемах ВПУ, так и для очистки сточных вод. При использовании многоступенчатых установок можно получить фильтрат с содержанием солей, близким к фильтрату Н-ОН-ионитных фильтров, что позволит на доочистки такого фильтрата иметь лишь ФСД. При такой схеме подготовки воды потребление реагентов на ВПУ будет резко ограничено. Метод обратного осмоса используется без ионитных фильтров при подготовке добавочной воды для котлов с давлением до 4Мпа. Обратный осмос используется также для очистки бытовых стоков и продувочных вод градирен с использованием фильтрата в цикле ТЭС.