

НАНОФИЛЬТРАЦИЯ: СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Д.А. Верецкий, В.В. Иванова, А.В. Фаткулина

Автомобильно-дорожный институт Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»

Современная технология фильтрации перекрестных потоков получила развитие в основном за последние 40 лет, после значительного развития полимерной химии. Сегодня, в подавляющем большинстве установок для фильтрации перекрестных потоков используются полимерные мембраны. Практически все промышленные нанофильтрационные мембраны полимерные.

Нанофильтрация (НФ) – это перекрестнопоточный, управляемый давлением процесс, который характеризуется размером пор мембран, соответствующим молекулярной массе отрезка около 200-1000 dalton, и рабочим давлением 150-500 psi (10-34 бар). НФ используется в основном для отделения низкомолекулярных органических и многовалентных солей от одновалентных солей и воды.

Начавшись в конце 70-х годов, НФ мембранные процессы постепенно нашли свой путь в промышленном применении, служа жизнеспособной альтернативой для большинства традиционных сепарационных процессов, таких как экстракция, испарение и дистилляция. Первая промышленная установка, в которой применялись НФ мембраны, была установлена в 1978 году, в которой использовались трубчатые мембраны для осветления и удаления окраски.

НФ относится к мембранным процессам, который задерживают частицы в диапазоне до 1 нанометра (10 Ангстремов). НФ работает в промежутке между УФ и обратным осмосом. При этом задерживаются органические молекулы с молекулярной массой больше чем 200-400. Растворённые соли задерживаются с эффективностью 20-98%. Соли, которые имеют одновалентные анионы (например хлорид натрия или хлорид кальция), задерживаются с эффективностью 20-80 %, тогда как соли с двухвалентными анионами (например сульфат магния) имеют более высокие показатели 90-98 %. Область применения включают удаление цветности и углеродосодержащих органических веществ из поверхностных вод, удаление жёсткости, удаление радия из артезианских вод, полная очистка от взвешенных частиц, и разделение органических и неорганического веществ в пищевой промышленности.

Ацетат целлюлозы и sulfonated polysulfone – это два распространенных материала для изготовления однородных асимметричных НФ мембран. Тонкая пленка, составляющая НФ мембраны использует поперечно связанные полиамидные полимеры, реагирующие с карбоксильной группой или с другой заряженной "парой". Основными материалами, которые обычно используются для тонкопленочных составных мембран, являются polysulfone (PS), polyethersulfone (PES), фторид polyvinilidene (PVDF), полиакрилонитрил (ПАН) и полиэфир эфир Ketone (PEEK).

Новейшие разработки НФ мембран, которые имеют особую устойчивость к очень низким или высоким значениям pH, очень высоким температурам или средним органическим растворителям, требуют от изготовителей мембран искать новые материалы для производства мембран. Материалы, используемые для этих инновационных мембран, обеспечивают долгий срок стабильности и практическую жизнь мембран в агрессивной среде. НФ мембраны имеют незначительно заряженную поверхность. Большинство НФ мембран отрицательно заряжены до нейтрального pH.

Этот поверхностный заряд играет наибольшую роль в транспортирующем устройстве и в сепарационных свойствах НФ мембран.

Промышленное применение НФ мембраны находят обычно в пищевой промышленности и производстве масла, химических процессах, при изготовлении пульпы и в бумажной промышленности, в электронной и текстильной промышленности.

НФ мембраны часто классифицируются как "небрежные" обратноосмотические (ОО) мембраны. Однако, отличия между ними значительные. Наиболее заметное отличие – это способность НФ мембран выборочно сортировать двухвалентные ионы, в то время как одновалентные ионы пропускаются. Общеизвестно, что НФ и ОО мембраны не имеют отдельных пор, как в ультрафильтрационных и микрофильтрационных мембранах. Хотя новейшие изучения при использовании Atomic Force Microscopy (AFM) говорят о том, что поры в НФ мембранах могут быть видны, большинство ученых в области мембран предпочитают описывать поры как расстояния между полимерными цепями конструктивного материала мембраны.

Механизм транспортировки и отсортировки НФ мембраны довольно сложен и становится точкой спора между учеными. Множество моделей было разработано, чтобы определить влияние различных параметров на транспортный механизм и спрогнозировать характеристики НФ мембраны. Две главные школы – Sourirajan's подход "сорбции поверхностно-капиллярного потока" и теория "растворения-диффузии".

Сорбция поверхностно-капиллярного потока описывает предпочтительную сорбцию молекул воды в мембране и десорбцию многовалентных ионов (диэлектрическими силами) основываясь на исключении заряженных растворенных веществ, даже меньших, чем поры мембраны, от движения в мембрану (исключение Донанна). Эффективная заряженная плотность, радиус пор и ионная сила определяют сортировку моновалентных ионов, но вообще-то говоря, для НФ мембран сортировка моновалентных ионов должна быть между 0 и 50%. Теория растворения-диффузии описывает мембрану как пористую пленку, в которой находится как вода, так и растворенное вещество (ион). Раствор движется в мембране в основном ниже концентрации градиентных сил, в то время как перемещение воды зависит от градиента гидравлического давления. Перемещение раствора сквозь мембрану зависит от задерживающей диффузии и конвекции.

Перемещение незаряженных растворов через НФ мембрану считается определенным пространственным механизмом исключения. Пространственное исключение применяется в НФ мембранах так же, как и в ультрафильтрационных и микрофильтрационных мембранах. Сепарация между двумя различными незаряженными растворами определяется разницей в их размере и форме.

Когда проектируется НФ процесс, нужно принимать во внимание несколько эксплуатационных параметров. Наиболее важные эксплуатационные параметры, влияющие на характеристики НФ мембран являются такими же, как и в большинстве перекрестнопоточных фильтрационных процессах: давление отличается под влиянием действующей силы, ответственной за НФ процесс. Эффективное действующее давление создает гидравлическое давление, меньшее, чем осмотическое давление, действующее на мембрану растворенными веществами. НФ обеспечивает хорошую сепарацию при общем давлении в 150 psi (10 бар) или выше; рост температуры процесса повышает изменение НФ мембраны из-за уменьшения вязкости. Отсортировка НФ мембран не зависит значительно от температуры процесса; повышение скорости перекрестного потока в процессе НФ мембраны.