

УДК 628.1

СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДЫ – НАНОФИЛЬТРАЦИЯ

Шатрова Е.В., студент гр. ВВб-171, IV курс
Зайцева Н.А., ст. преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Всплеск фильтрации и связанной с фильтрацией активности, последовавший за развитием процесса фазовой инверсии в начале 1960-х годов, привел к созданию трех процессов мембранной сепарации: обратного осмоса, ультрафильтрации и, совсем недавно, микрофильтрации. Эти процессы взяли спектр разделения от традиционного предела точки среза стандартной фильтрации около 0,01 мм (10 мкм) до самых тонких отдельных твердых частиц размером в несколько нанометров и позволили отделить крупные молекулы от раствора. Фактические диапазоны размеров несколько варьируются от источника к источнику, но существует общее согласие с тем, что микрофильтрация охватывает диапазон от 10 мкм до 0,1 мкм, в то время как ультрафильтрация охватывает диапазон от 0,1 мкм до 0,005 мкм (5 нм) с точки зрения дискретных частиц или отсечки молекулярной массы от 300 000 до примерно 300 Дальтон (Да) для растворенных материалов. Обратный осмос, конечно, был предназначен для удержания очень маленькой молекулы хлорида натрия, что означало пропускание только воды.

Эти предполагаемые диапазоны размеров фактически все еще оставляли пробел в их покрытии на нижнем конце этого диапазона для ультрафильтрации (примерно от 100 до 300 дальтон). Развитие мембран было довольно быстрым в 1970-х и 1980-х годах, что привело к мембранному процессу, который в конце 1980-х годов получил название «нанофильтрация».

В этом смысле нанофильтрация представляет собой довольно недавнее развитие в области мембранных процессов разделения, которое охватывает верхний конец (в терминах размера разделения) обратного осмоса и нижний конец ультрафильтрации, охватывая значения от 100 до 1000 дальтон. Он имеет дело с материалами, которые растворены в жидкости, а не с отдельными частицами, взвешенными в жидкости. Разделение между растворенным веществом и растворителем происходит путем диффузии молекул растворителя через массу мембранного материала, приводимой в движение главным образом высоким трансмембранным давлением, а не через какое-либо физическое отверстие (пору) в мембране. Некоторые из молекул растворенного вещества также могут диффундировать через мембрану, либо по замыслу проектировщика процесса, либо потому, что растворенное вещество имеет конечный (хотя и очень маленький) коэффициент диффузии в материале мембраны.

Ключевое различие между нанофильтрацией и обратным осмосом заключается в том, что последний удерживает одновалентные соли (например, хлорид натрия), тогда как нанофильтрация позволяет им проходить, а затем удерживает двухвалентные соли, такие как сульфат натрия. Роберт Петерсон в своем Предисловии к книге «Нанофильтрация – принципы и приложения» описывает обратный осмос (особенно в области очистки воды) как основное блюдо, возможно, стейк, в то время как нанофильтрация «подобна винному меню ... возможность для творчества и исследования».

Выше были описаны истоки и природа общепринятого процесса, называемого нанофильтрацией, который представляет собой разделение жидкой фазы, удаляющее растворенные твердые частицы, осуществляемое с помощью мембран при относительно высоком трансмембранном давлении. Однако прогресс большей части фильтровального бизнеса обусловлен требованиями к более тонким и тонким точкам среза как в жидкостной фильтрации, и эти требования в настоящее время удовлетворяются за счет использования соответственно более тонких волокон для изготовления фильтрующих материалов. Все чаще эти волокна имеют диаметры значительно меньше одного микрометра и поэтому измеряются в нанометрах и становятся широко известными как нановолокна. Они используются для изготовления композитных фильтрующих материалов с паутиной нановолокон, поддерживаемых на более грубой подложке.

Очень тонкая фильтрация, которая может быть достигнута с помощью этих нановолоконных сред, приводит к тому, что процесс разделения, который эффективно является микрофильтрацией, достигает гораздо более низких точек среза. Эти материалы также называют мембранами, хотя они сильно отличаются по формату от полупроницаемого пластикового листа, о котором чаще всего думают при упоминании мембран. Следует отметить, что на 10-м Всемирном конгрессе по фильтрации (в 2007 году) из почти 250 отдельных докладов и 85 стендовых докладов 12 были посвящены нанофильтрации, а 14-нановолокнам как фильтрующим средам.

Хотя есть надежда, что эти две системы – нанофильтрация и фильтрация с помощью нановолокон – достаточно различны, чтобы избежать их путаницы, обе они рассматриваются в остальной части этой статьи.

Стоит отметить, что термин “нанотехнологии” сейчас очень широко используется, имея в виду целый ряд научных, инженерных и производственных мероприятий, связанных с очень мелкими вещами. К сожалению, этот термин вошел в общественное сознание с присущим ему компонентом “страха перед неизвестным”. Это не относится к нанофильтрации, так как среды, участвующие в ней, в основном непрерывны и неотличимы от RO или UF мембран. Однако это касается производства и использования нановолокон, и производителям и пользователям нановолокон придется позаботиться о том, чтобы не преувеличивать эту проблему.

Процесс мембранного разделения, известный как нанофильтрация, по существу является жидкофазным. Мембраны являются ключом к производи-

тельности нанофильтрационных систем. Они производятся в форме пластин и каркасов, спирально намотанных, трубчатых, капиллярных и полых волокон, из целого ряда материалов, включая производные целлюлозы и синтетические полимеры, из неорганических материалов, особенно керамики, и из органических/неорганических гибридов.

Последние разработки мембран для нанофильтрации значительно расширили их возможности в средах с очень высоким или низким рН, а также в их применении к неводным жидкостям. Пластиковые носители имеют высокую степень поперечной связи, что обеспечивает долгосрочную стабильность и практический срок службы в более агрессивных средах. Мембраны NF, как правило, имеют слегка заряженную поверхность с отрицательным зарядом при нейтральном рН. Этот поверхностный заряд играет важную роль в механизме транспортировки и разделительных свойствах мембраны.

Как и любой другой мембранный процесс, нанофильтрация подвержена загрязнению, и поэтому системы нанофильтрации должны быть спроектированы таким образом, чтобы свести к минимуму ее вероятность – с надлежащей предварительной обработкой, с правильным материалом мембраны, с адекватными скоростями поперечного потока, чтобы очистить поверхность мембраны от накопленной слизи, и с использованием вращающихся или вибрирующих мембранных держателей.

Промышленное применение нанофильтрации довольно распространено в пищевой и молочной промышленности, химической переработке, целлюлозно-бумажной промышленности и текстильной промышленности, хотя основное применение по-прежнему остается в очистке пресных, технологических и сточных вод.

Применения в пищевой промышленности довольно многочисленны. В молочном секторе NF используется для концентрирования сыворотки и проникает из других обработок сыворотки, а также для переработки чистых растворов на месте. При переработке сахара декстрозный сироп и тонкий сахарный сок концентрируются НФ, а ионообменные рассолы деминерализуются. NF используется для дегумирования растворов в секторе переработки пищевого масла, для непрерывного производства сыра и в производстве альтернативных подсластителей.

Целлюлозно – бумажная промышленность использует очень большое количество воды в своих производственных процессах, количество, которое промышленность стремится уменьшить, главным образом, путем “закрытия водного цикла” - системы, в которой очистительные свойства НФ играют главную роль.

Все эти конкретно упомянутые области применения были основаны на воде, но нанофильтрация не ограничивается обработкой водных суспензий. Действительно, на нефтеперерабатывающем заводе была установлена одна из крупнейших установок НФ для депарафинизации масел. Боам и Нозари в своем обзоре нанофильтрации органических растворителей указывают, что многие процессы разделения органических систем довольно высоко энергоемки и

что, напротив, ОСН может быть вполне энергосберегающей альтернативой (например, по сравнению с дистилляцией).

ООО "Родники Кузбасса" первые в Кузбассе в процессе водоподготовки задействовали метод нанофильтрации.

В водных системах нанофильтрация использует гидрофильные полимерные материалы, такие как полиэфирсульфон, полиамиды и производные целлюлозы. Эти материалы, соприкасаясь с органическими растворителями, быстро теряют свою стабильность. Поэтому были разработаны специальные мембраны, обеспечивающие те же характеристики, что и в водных системах, и в настоящее время они используются для обмена растворителями, извлечения и разделения растворителей, извлечения катализаторов и удаления тяжелых металлов.

В установках для нанофильтрации применяют не пористые мембраны трубчатой, плоскорамной, половолоконной, рулонной и листовой конструкции.

Синтетические материалы, как органические, так и неорганические, которые в настоящее время превращаются из расплавленного состояния во все более тонкие волокна, ничем не отличаются от материалов, которые десятилетиями использовались для этой цели (за исключением постоянно расширяющегося ассортимента доступных термопластичных полимеров). Что изменилось, так это оборудование ниже по потоку от спинареты, которое позволяет производить широкий диапазон диаметров волокон. Начиная более 40 лет назад с закрученных связующих сред, диаметр волокон которых составлял 10 мкм или более, этот список проходит через закрученные вспышки и выдувание расплава (чуть более 1 мкм) до электрошпунных материалов, диаметр волокон которых приближается к 100 нм.

Каждый из этих материалов может быть изготовлен в виде случайного набора волокон в виде паутины, которая сама по себе является очень хорошей фильтрующей средой, если она адекватно поддерживается на более прочной подложке.

Установки для нанофильтрации состоят из нескольких блоков:

1. Предфильтров. Устройства для удаления взвешенных частиц, активных окислителей, которые могут повредить мембрану.

2. Насоса. Агрегат предназначен для создания избыточного давления, необходимого для тока воды через мембрану.

3. Мембраны для нанофильтрации. Пленка из композитных материалов имеет одностороннюю проницаемость.

4. Корпуса установки. Предназначен для размещения других частей фильтра. Материал выбирают в зависимости от величины рабочего давления, условий эксплуатации фильтра.

Нанофильтрационное оборудование качественно очищает жидкую среду от бактерий, вирусов, органических соединений (в том числе, пестицидов), коллоидных частиц, молекул солей, тяжелых металлов, а также нитритов,

нитратов и других растворенных веществ, характеризующихся молекулярными массами от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Вторым достоинством нанофильтрации является полное сохранение в жидкой среде солей и микроэлементов, необходимых для организма человека.

Методы тонкого прядения оказались пригодными для производства углеродных и керамических волокон и, очевидно, приведут к появлению крупного сегмента бизнеса фильтрующих материалов, особенно для фильтрации воздуха. Поскольку эти среды способны удалять загрязняющие вещества размером менее 0,1 мкм, они будут считаться мембранами – и, конечно же, известны как наномембраны.

Третьим преимуществом нанофильтрации является то, что этот способ водоподготовки позволяет получить воду точной жесткости.

Немаловажным достоинством нанофильтрации является экономическая целесообразность. Это обусловлено тем, что в сравнении с обратным осмосом процесс нанофильтрации протекает при меньших напорах (до 7 бар) и, следовательно, потребляет меньше энергии.

И наконец, селективность нанофильтрационной мембраны позволяет использовать такие установки в случаях, когда системы обратного осмоса использовать невыгодно. Например, при отделении гексана в производстве растительного масла, многостадийном химическом синтезе при изготовлении лекарственных средств и пр.

Среди недостатков нанофильтрации можно назвать недостаточную глубину умягчения воды в ряде случаев, необходимость тщательной подготовки жидкой среды и высокие эксплуатационные расходы.

Список литературы:

1. А.А.Пантелеев, Б.Е.Рябчиков, О.В.Хоружий, С.Л.Громов, А.Р. Сидоров Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке – Москва: ДеЛи плюс, 2012;
2. МЕМБРАНИУМ : официальный сайт. – Москва URL: <https://www.membranium.com/ru> (дата обращения 28.01.2021). – Текст: электронный
3. М.Мулдер Введение в мембранную технологию – Москва: Мир, 1999.
4. Diaseel Engineering : официальный сайт. – Москва URL: <https://diaseel.ru> (дата обращения 28.01.2021). – Текст: электронный