

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УЛЬТРА- И МИКРОФИЛЬТРАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Е.В. Тужанская, С.П. Высоцкий

Автомобильно-дорожный институт государственного высшего учебного заведения

«Донецкий национальный технический университет»

Микрофилтрационные и ультрафилтрационные мембраны представляют собой капиллярные структуры. В большинстве случаев данные мембраны используются в процессах без сброса концентрата или в прямоточных процессах с промежуточным промывочным циклом. МФ и УФ мембраны различаются по ряду параметров. Например, по направлению питания: с внутренним – очищаемая вода подаётся с внутренней стороны капилляра и с внешним – с внешней стороны. Одни мембраны работают с регулированием давления, используя насосное оборудование, другие – погружены в резервуар с очищаемой водой (при этом всас осуществляется со стороны пермиата).

Большинство промышленных мембран, используемых в водоподготовке, имеют внутренний диаметр волокон 0,7-0,9 мм и внешний – 1,2-1,5 мм, т.е. наружная поверхность приблизительно в два раза больше внутренней. Это означает, что при подаче воды снаружи, система обеспечивает расход пермиата, который в два раза превышает расход, получаемый при подаче воды изнутри. Однако существует ряд факторов, которые значительно ограничивают данное преимущество. Например, конфигурации с внешним питанием используют поливинилфторидные мембраны, которые имеют относительно низкую проницаемость, а большинство схем с внутренним питанием используют высоко проницаемые полиэфирные мембраны, что уравнивает расходы пермиата при равном давлении и числе волокон.

В обеих схемах отмывка осуществляется противотоком. В схемах с внутренним питанием высокий расход воды, которая подаётся обратным током вдоль всей длины внешней поверхности, обеспечивает высокую эффективность удаления частиц из волокон. При этом в системах, модули которых соединены параллельно, промывочный поток может отводиться с любого торца модуля, гарантируя при этом эффективное удаление накопленного осадка. Схемы с внешним питанием не могут функционировать с приемлемой эффективностью, при использовании в качестве промывочной воды только пермиата. Интенсификация отмывки может быть достигнута за счет подачи исходной воды внутрь волокон. Однако это может привести к повреждению мембран и снижению их проницаемости. Поэтому в схемах с внешним питанием для промывки предпочитают использовать воздух, что обеспечивает высокие скорости массопередачи.

Основной задачей воздушной чистки является создание потоков в волокнах. Данная задача наиболее эффективно реализуется в деструктурированных длинных волокнах с небольшим диаметром. Следует учитывать, что внешняя воздушная чистка оказывает дополнительное давление на мембраны, поэтому необходимо использовать гибкое мембранное волокно, такое как поливинилфторидное.

В схемах с внутренним питанием обычно не используется чистка воздухом, так как могут возникнуть проблемы, связанные с удалением последнего. Зато высокие скорости массопередачи определяют быстроту чистки. Скорость обратного потока в

300 л/м<sup>2</sup>·ч необходима для достижения переходного или турбулентного режима течения, что позволит сократить перепад давления по длине волокон. Однако экспериментальные исследования показали, что для эффективной фильтрации необходимы два цикла отмывки. Таким образом, для оптимизации эффективности отмывка должна осуществляться относительно часто в схемах, как с внутренним, так и с внешним питанием. Например, по 30 секунд каждые 30 – 60 минут в зависимости от типа оборудования.

В общем случае удельная скорость фильтрации составляет 100 л/м<sup>2</sup>·ч. При этом падение давления на волокнах диаметром 0,7 – 0,9 мм составляет 0,1 – 0,2 бара. Для погружённых систем эти параметры составляют около 60%.

В системах с погружёнными мембранами используются микрофильтрационные или ультрафильтрационные мембраны высокой проницаемости. Системы с внешним питанием обычно сходны с погружёнными системами, использующими МФ мембраны. Следует отметить, что погружённые системы «экономят» на герметизации мембран, несмотря на то, что из-за уменьшения потока требуют большей поверхности мембран для обеспечения необходимого расхода.

Небольшой расход и наклонное расположение погруженных систем позволяют отказаться от использования вакуумных насосов, что сокращает капитальные затраты на оборудование. Если же погружённая установка расположена горизонтально, то необходимо применение насосов, хотя и в этом случае данные системы более экономичны благодаря малым расходам очищаемой воды и регулируемому давлению.

На ранних этапах развития ультрафильтрационных систем, последние имели массивные модули соединенные параллельно. Модули могли соединяться горизонтально или вертикально в зависимости от практических целей. Мелкомасштабные системы для простоты использовали горизонтальную ориентацию, которая позволяла сократить работу насосов, крупномасштабные - вертикальную ориентацию с продувкой воздухом.

В 90-х годах возникли мультиэлементные системы, в которых 4 элемента по 1,5 м соединялись в 6-ти метровом корпусе. В таких системах поток подаётся одновременно с двух концов корпуса. Главное преимущество мультиэлементных систем в сокращении числа корпусов. Трубопроводы подсоединяется к меньшему числу корпусов, следовательно, уменьшается количество клапанов.

Во многих случаях, горизонтальное соединение мембранных модулей более целесообразно, так как более экономично использует рабочую площадь. При вертикальном соединении целесообразно использование блоков горизонтально соединённых модулей, объединённых в два слоя или более.

К недостаткам горизонтального размещения мембранных модулей можно отнести ухудшение распределение потока во время цикла фильтрации и низкую эффективность при промывке, а также необходимость обеспечения герметизации.

В горизонтальных системах в течение фильтроцикла максимальное количество осадка откладывается в центре короба, поэтому при отмывке, когда поток поменяет направление, очистительная способность будет минимальна именно здесь. В промышленных установках данный факт может приводить к сокращению расхода примерно на 10% по сравнению с системами, которые используют вертикальную ориентацию мембранных модулей.

Вертикальные конфигурации не имеют недостатков горизонтальных проектов, так как питание в них может осуществляться через любой торец мембранного модуля, при этом данные системы требуют меньшего количества обслуживающего персонала.