

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОБРАБОТКИ ВОД ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

к.т.н., доц. Нечитайло Н.П.

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» г. Днепрпетровск

Главная проблема при обработке вод поверхностных пресных источников водоснабжения Украины сводится в основном к удалению органических веществ из воды, таких как гуминовые и фульвокислоты. Стандартные методы обработки коагуляция, флокуляция с последующим отстаиванием и фильтрованием не позволяют добиться требуемых результатов по таким показателям как цветность, окисляемость, остаточный алюминий. Повышенные остаточные концентрации органических веществ, обуславливающие цветность и окисляемость, в свою очередь, приводят к образованию побочных продуктов хлорирования, таких как хлорорганические соединения. Решение задачи подготовки воды поверхностных источников водоснабжения, при высокой загрязненности органическими веществами, может быть найдено при применении баромембранных методов обработки. К баромембранным методам позволяющим удалять органические вещества относятся: ультрафильтрация и нанофильтрация. Метод ультрафильтрации без коагуляции удаляет органические загрязнения не более чем на 40-60 %, ультрафильтрация с коагуляцией позволяет удалять около 65-75 % [1]. Что является достаточным по требованиям нормативной документации, однако при обеззараживании воды хлорсодержащими реагентами не удастся избежать образования вторичных продуктов хлорирования. При нанофильтрации устранение органических продуктов происходит практически полностью. Однако, существенным недостатком метода является высокие требования к качеству воды, подаваемой на мембранный аппарат, а также практически полное удаление двухвалентных ионов, что в свою очередь требует последующей минерализации. Соответственно необходимо производить разработку методов позволяющих устранять органические соединения, которые обуславливают цветность и окисляемость. Одним из таких методов может стать фильтрация на динамических мембранах, которые создаются путем закупорки неэффективных пор на стандартных ультрафильтрационных мембранах.

Создание динамического слоя на поверхности полуволоконного модуля позволяет изменить свойства мембраны, которые будут более эффективно извлекать загрязнения из воды. Динамический слой на поверхности и в порах ультрафильтрационной мембраны смещает фильтрационные свойства в сторону нанофильтрации, что позволяет более эффективно извлекать органические соединения, при этом пористость мембраны остается такой при которой

ионы растворенных в воде солей проходят сквозь полотно мембраны. С другой стороны, динамический слой придает повышенное сопротивление, а значит, повышаются удельные затраты энергии.

В общем можно выделить три способа работы мембраны ультрафильтрации, а соответственно и три способа нанесения динамического слоя [2]:

- к первому способу относится работа мембраны в тупиковом режиме, когда вся вода и формирующая добавка подводится к поверхности мембраны рис. 1;

- ко второму - тангенциальная фильтрация, когда часть потока фильтруется через мембрану, а часть потока поддерживается в постоянной рециркуляции рис. 1;

- к третьему - поток разделяется на три части, первая часть фильтруется через мембрану, вторая часть запускается по рециркуляционному контуру, и третья часть называемая концентрат сбрасывается в канализацию.

Для создания динамического слоя предлагается использовать так называемую фильтрацию в тангенциальном режиме так же получившую название cros-flow. Тангенциальная фильтрация это процесс разделения действующей силой, которого является разность давлений, в котором поток пермеата разделяется перпендикулярно потоку подачи и концентрата. Разделение в тангенциальной фильтрации обычно достигается с помощью полупроницаемых перегородок, которые позволяет делить потоки на концентрат и пермеат. Процессы тангенциальной фильтрации традиционно применяют в обратном осмосе (гиперфильтрации), ультрафильтрации, микрофильтрации, в зависимости от размеров пор мембраны и условий эксплуатации. Тангенциальная фильтрация имеет несколько преимуществ по сравнению с тупиковой, что и позволило ей получить более широкое распространение при выделении коллоидных и взвешенных частиц из растворов. В случае нанесения мембранообразующей добавки наиболее целесообразно концентрат запускать в рециркуляционный контур без его сброса, что позволяет вернуть весь объем на вход в мембрану без потери ценных компонентов.

Карман-Козени предложили уравнение, которое описывает процессы фильтрации в зависимости от приложенного давления.

$$J = \frac{|\Delta p|}{\mu R_m}$$

где Δp - разность давлений с каждой стороны мембраны;

μ - вязкость фильтруемого растворителя;

R_m - сопротивление мембраны.

Если данное уравнение подвергнуть аппроксимации для процесса создания динамического слоя на основе мембраны ультрафильтрации в присутствии мембранообразующей добавки мы получим следующее:

$$J = \frac{|\Delta p| - |\Delta \pi|}{\mu(R_m + R_s)}$$

где $\Delta\pi$ – это дифференциал осмотического давления через мембрану, которым можно пренебречь для процесса ультрафильтрации, как имеющего низкую зависимость от осмотического переноса;

R_s – сопротивление, возникшее в результате образования динамического слоя на поверхности и внутри мембраны.

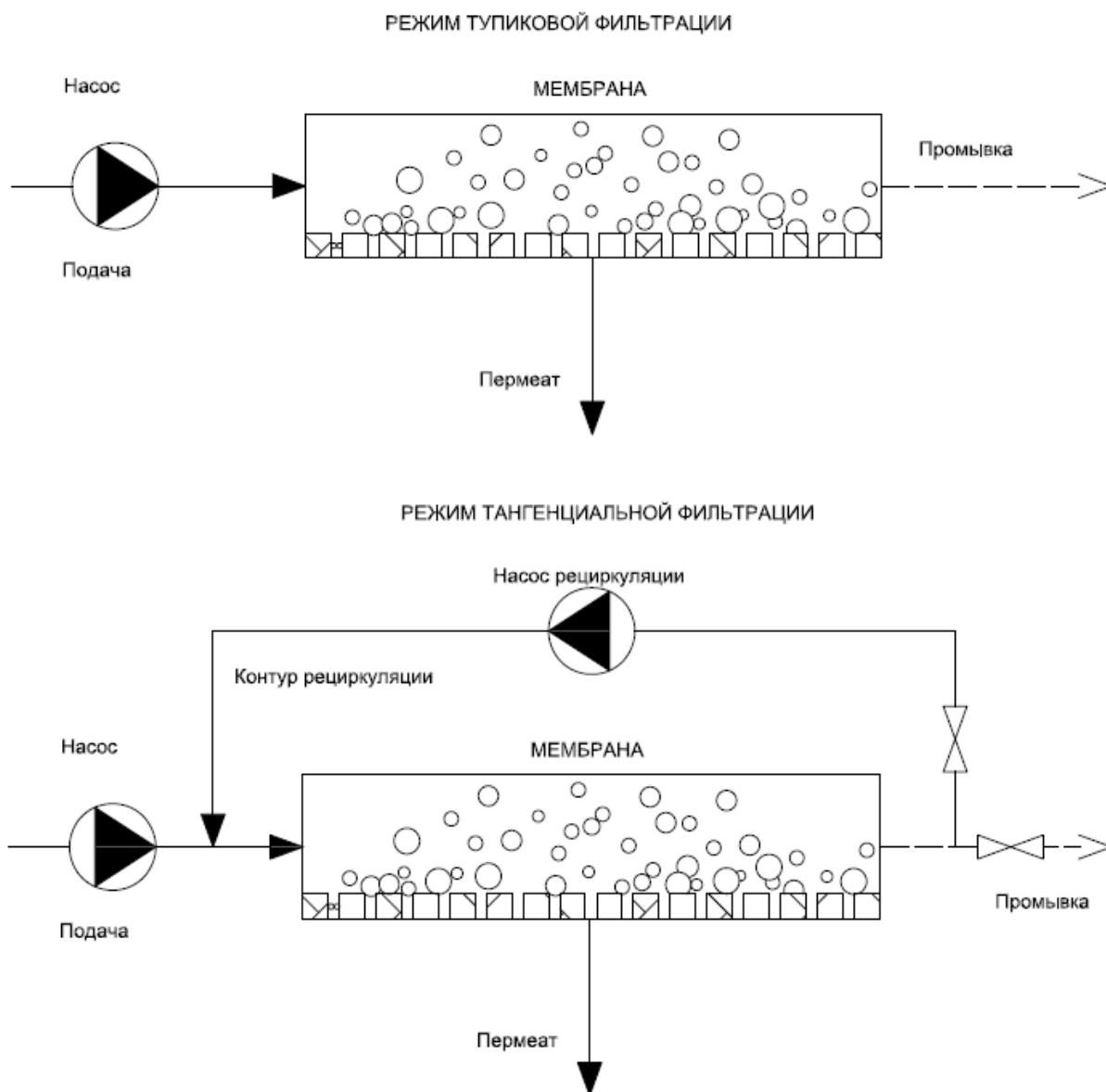


Рис.1 Режимы нанесения мембранообразующей добавки.

В соответствии с определением динамической мембраны R_s – обуславливается гелевым и поляризационным слоем, образовавшимся на поверхности и в порах мембраны путем нанесения модифицирующей добавки см. рис 2.

Задерживающая способность мембраны определяется соотношением R/r , где R – размер частицы, r – размер поры, т.е. механизм разделения – обычное просеивание (сито). Если происходит адсорбция растворенного вещества на поверхности и в порах мембраны, это приводит к сужению больших неселективных пор и переводу их в селективные (т.е. к увеличению задерживающей

способности), а также к блокированию (мостичному перекрыванию) селективных пор (т.е. к снижению проницаемости мембраны).

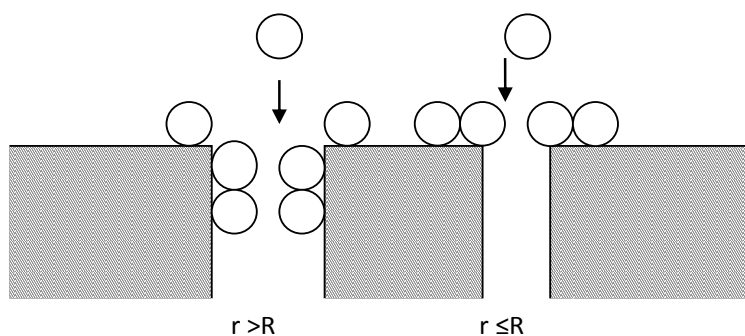


Рис.2 Механизм закупорки пор мембраны

Стоит отметить, что наиболее предпочтительный случай это адсорбция внутри неэффективной поры мембраны и превращение ее в селективную. Перекрытие же по мостичному принципу сужает канал и повышает гидродинамическое сопротивление вдоль канала, что соответственно повышает сопротивление, локально снижает скорость в канале и приводит к закупорке.

Соответственно необходимо создать такие условия для формирования динамического слоя при которых частицы добавки будут адсорбироваться внутри неэффективных пор, и перекрывать по мостичному принципу эффективные поры, что даст возможность при прямой промывке мембраны удалить с ее поверхности частицы, обуславливающие мостичное перекрытие под действием гидродинамических сил.

Для модификации поверхностного слоя мембраны могут быть произведены следующие действия [3]:

- использование механизма экстракции при внесении в обрабатываемую воду нерастворимых органических соединений, которые взаимодействуют с загрязнениями. При этом взаимодействии образуются эмульсии разделяемые мембраной. Однако, данный способ не приводит к постоянным свойствам модификации поверхности мембраны. Ввиду того, что слой является рыхлым и легко удаляется с поверхности мембраны и закупоренных пор;

- внесение в обрабатываемую воду ПАВ, который способен к мицеллообразованию. Мицеллообразование происходит по механизму адсорбции загрязнителя на ПАВ. Однако и ПАВ в общем случае являются загрязнителями для природных и сточных вод, в практике водоснабжения не применяются, а также довольно сложно определяются с точки зрения аналитического контроля;

- адсорбция на поверхности золя выделяемого загрязнителя из воды. Золи участвуют в броуновском движении и не образуют плотную пространственную структуру, что может приводить только к мостичному механизму модификации или не приводить к таковому;

- введение в объем обрабатываемой воды флокулянтов. Механизм разделения на мембране происходит по законам фильтрации высокомолекулярных соединений. Также необходимо выделить то, что флокулянты можно разделить на три группы: анионные, катионные и неионогенные. Вследствие своих свойств взаимодействие флокулянта происходит одновременно с поверхностью мембраны и загрязнениями в воде. С точки зрения взаимодействия флокулянта с загрязнениями и поверхностью мембран, можно сказать, что флокулянт работает по принципу адсорбции, как на поверхности мембраны, так и с загрязнениями воды, формируя прочный динамический слой.

- добавление в раствор химических реагентов, таких как коагулянты, которые переводят загрязнения воды в нерастворимые соединения с образованием осадка. Данный способ широко применяется при обработке воды и стоков. При этом можно контролировать скорость реакции в зависимости от дозы и времени контакта, что позволяет максимально приблизиться к условиям закупорки неэффективных пор и снизить влияние механизма мостичного перекрытия.

Важными критериями при выборе мембранообразующей добавки являются:

- сохранение транспортных свойств мембраны;
- придание таких свойств динамической мембране, которые позволили предохранить от разрушения, как биологического, так и химического характера;
- нанесенная добавка должна быть стабильна в процессе эксплуатации, т.е. не разрушаться или легко восстанавливаться;
- динамический слой должен легко удаляться для восстановления первоначальных фильтрующих свойств;
- добавка должна быть безопасна с точки зрения экологии и не мигрировать в очищенную воду.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее предпочтительно использовать в качестве мембранообразующей добавки стандартные реагенты, применяемые для процессов подготовки питьевой, технической и сточной воды, к которым в частности относятся коагулянты и флокулянты.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. – М.:Химия, 1975. – 232 с.
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию, пер. с англ., под ред. Ю. П. Ямпольского, Москва, МИР: 1999. -513 с
3. Свитцов А. А. Введение в мембранную технологию, М., ДеЛи принт, 2007, 208 с.