

## Раздел 3. Инженерное обеспечение

### НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕССОЛИВАНИЯ

Вернези С.

Академия строительства и архитектуры

**Аннотация.** Разработанные в последние годы комплексные методы очистки воды с использованием ультрафильтрационных мембран проанализированы в аспекте возможности их применения для обессоливания морской воды. Рассмотрены перспективы использования в технологии водоочистки ультрафильтрационных мембран

**Ключевые слова:** обессоливание, типы ультрафильтрационных мембран, направления использования ультрафильтрации.

#### Вступление

Мировая статистика свидетельствует, что в настоящее время более 1 млрд. людей не имеют доступа к источникам пресного водоснабжения и еще около 2,3 млрд. проживают в регионах, малообеспеченных пресной водой [1].

Воды на нашей планете много, но более чем 96% ее является соленой с содержанием 30-45 г/л [1], а половина остатка содержится на полюсах или в виде ледников.

Традиционные ресурсы пресной воды, такие как реки и озера, постепенно исчерпываются, растет минерализация подземных источников, в следствие антропогенного загрязнения. В связи с дефицитом чистой пресной воды стали интенсивно развиваться технологии по деминерализации вод с различным солевым составом.

Для Крыма проблема нехватки пресной воды всегда была актуальной, и в связи с дальнейшим развитием региона будет обостряться. Одним из способов её решения является обессоливание морской воды.

#### Основные результаты работы

Под обессоливанием воды понимают процесс снижения содержания растворенных в ней солей до требуемой величины прокаленного растворенного остатка.

Различают частичное и полное обессоливание. Частным случаем обессоливания является опреснение, в результате которого величина содержания в очищенной воде не превышает 1000 мг/л.

Полное обессоливание обеспечивает получение в процессе обработки воды, близкой по качеству к дистиллированной, используемой в большинстве случаев для питания барабанных и прямоточных котлов ТЭЦ, ГРЭС [2].

В настоящее время разработано очень много способов получения пресной или опресненной воды, но в принципе все они могут быть сведены к двум основным типам: термические и процессы с применением мембран.

В последние годы мембранная фильтрация рассматривается как альтернативный и надежный процесс очистки воды, приведение её к

существующим нормам качества. Размер задерживаемых частиц определяется структурой мембраны, то есть размером ее пор. Мембранные процессы можно классифицировать по размерам задерживаемых частиц на следующие типы:

- микрофильтрационные мембраны,
- ультрафильтрационные мембраны,
- нанофильтрационные мембраны,
- обратноосмотические мембраны.

Особым интересом среди специалистов в последние годы пользуются технологии ультрафильтрации, что обусловлено растущими масштабами ее применения. В США, Великобритании, Нидерландах, Малайзии, Сингапуре, Париже, а теперь и в Москве сооружаются и работают крупные станции водоподготовки, пропускающие сотни тысяч кубических метров воды в день [3].

Ультрафильтрационная технология разделения растворов известна давно, она успешно применяется в пищевой, химической, микробиологической и других отраслях промышленности, однако в сфере водоснабжения об этом методе всерьез заговорили всего три-четыре года назад [3].

Появившиеся на рынке промышленно освоенные и коммерчески доступные мембраны и аппараты, а также отработка надежной технологии их эксплуатации, позволяют использовать ультрафильтрационные технологии на крупных водопроводных станциях. Огромные масштабы производства новых мембранных аппаратов, специально предназначенных для работы в составе систем очистки природных вод, обусловили интерес к мембранным технологиям.

Несмотря на постоянный рост объема производства и продаж мембранных аппаратов и систем очистки воды на их основе, расширение области применения мембран, поиск новых «ниш» для их внедрения – процесс длительный, требующий накопления опыта, изучения процесса очистки.

Для того чтобы эффективно использовать мембранные установки в решении задач питьевого водоснабжения, специалистам необходимо иметь представление о сильных и слабых сторонах этой технологии.

Элементами любой ультрафильтрационной системы очистки воды являются мембранные аппараты. От выбора типа мембран, конструкции мембранных модулей и режима их работы будет зависеть успех работы всей установки.

Ультрафильтрация – это баромембранный процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий (пор) ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм.

От обычного объемного фильтрования мембранная фильтрация отличается тем, что подавляющее большинство всех задерживаемых веществ накапливается на поверхности мембраны, образуя дополнительный фильтрующий слой осадка, который обладает своим сопротивлением.

При необходимости, для борьбы с ростом осадка, над поверхностью мембраны создают дополнительный поток из обрабатываемой жидкости, который размывает накапливающийся осадок. Жидкость, содержащая удаленные с поверхности мембраны загрязнения, выводится из разделительного аппарата. Для более эффективного удаления загрязнений с поверхности и из пор мембраны используют метод обратных промывок, при котором очищенную воду (фильтрат) пропускают через мембрану в направлении, обратном направлению фильтрования. Такие промывки производятся намного чаще, чем промывки обычных фильтров с зернистой загрузкой – от 1 до 5 раз в час, но их продолжительность составляет всего 10–30 секунд, поэтому объем сбрасываемой воды составляет 2–5 % от объема фильтрата [4].

Для предотвращения биологического зарастания ультрафильтрационных мембран в воду для обратной промывки мембранных элементов добавляют дезинфектант, чаще всего, гипохлорит натрия.

Производительность мембранных аппаратов в процессе длительной работы постепенно уменьшается, т. к. на поверхности и в порах мембраны сорбируются различные вещества и отлагаются частички загрязнений, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка мембранных аппаратов специальными кислотными и щелочными реагентами для удаления накопленных загрязнений.

Следовательно, основные задачи при проектировании мембранных установок – это подбор оптимального типа мембран в зависимости от состава исходной воды и определение оптимального режима эксплуатации мембранной установки, при котором загрязнение мембран было бы минимальным. Надежность работы обеспечивается правильным выбором материала мембраны, который был бы наименее чувствителен

к загрязнениям, характерным для данного состава исходной воды, и конструкцией аппарата, которая должна позволять проводить гидравлические промывки мембран с максимальной эффективностью. Кроме того, важно уметь прогнозировать работу установки в течение длительного периода эксплуатации.

В качестве материала для изготовления ультрафильтрационных мембран в основном используются полимерные вещества – ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и их производные. Большинство ультрафильтрационных мембран – асимметричные, они состоят из тонкого селективного слоя толщиной несколько десятков мк или менее и пористой подложки, которая обеспечивает механическую прочность (рис. 1). Полимерным мембранам при их изготовлении могут придаваться разнообразные свойства, что позволяет управлять их селективными характеристиками и устойчивостью к загрязнению различными веществами.

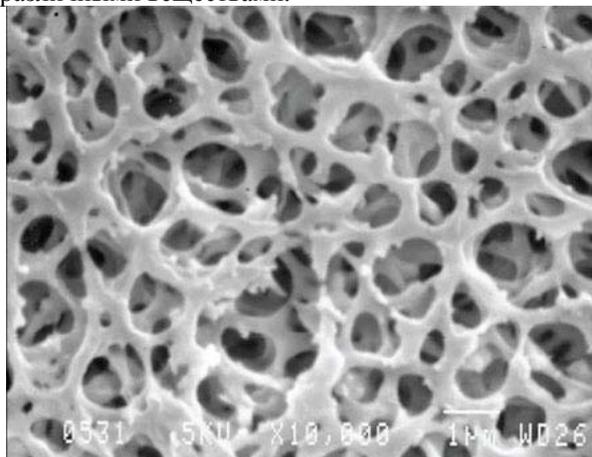


Рис. 1. Микрофотография (на сканирующем электронном микроскопе) полимерной мембраны из ацетата целлюлозы

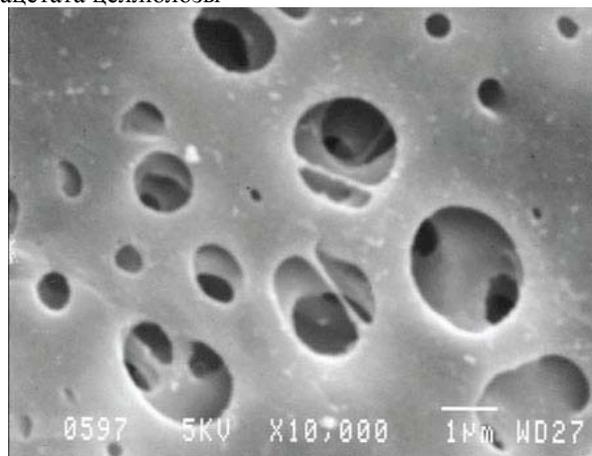


Рис. 2. Микрофотография (на сканирующем электронном микроскопе) полимерной мембраны из полиэтерсульфона

Особое место занимают трековые мембраны, получаемые путем вытравливания треков, оставшихся в полимерной пленке после ее

облучения потоком высокоэнергетических частиц. Эти мембраны характеризуются очень узким распределением пор по размеру и симметричной структурой. Недостатком таких мембран является низкая поверхностная пористость и относительно высокая стоимость.

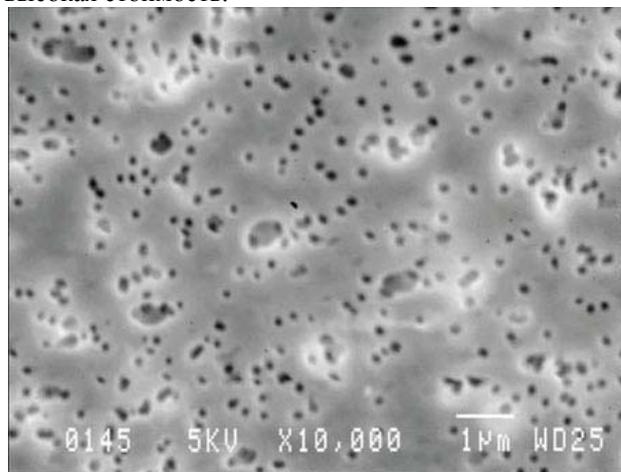


Рис. 3. Микрофотография (на сканирующем электронном микроскопе) полимерной мембраны из высокопористого поликарбоната (трековая мембрана)

Большинство современных полимерных мембран устойчивы к воздействию микроорганизмов и химических соединений в широком диапазоне pH, обладают высокой селективностью и производительностью, допускают кратковременное воздействие сильных окислителей: свободного хлора, озона. Свойства мембран лишь незначительно ухудшаются в течение всего срока службы, который составляет 5 и более лет. Старение мембран может происходить из-за истончения верхнего слоя при взаимодействии с взвешенными и абразивными веществами, содержащимися в обрабатываемой воде, или очищающими химическими агентами.

Для производства ультрафильтрационных мембран могут использоваться неорганические (керамические и металлокерамические) материалы на основе окислов  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $ZnO_2$ . Керамические мембраны характеризуются долговечностью, высокой физической, химической и бактериальной стойкостью, что позволяет им работать в самых жестких условиях. Их применение сдерживается невысокой плотностью упаковки в мембранных модулях и трудностями получения пор меньшего диаметра [3].

Изучение зарубежного опыта показывает, что развитие ультрафильтрационных систем очистки воды развивается по нескольким ключевым направлениям, отвечающим возможностям метода и существующим проблемам при подготовке питьевой воды [4].

Первое направление – использование ультрафильтрации в качестве альтернативы традиционным методам обеззараживания: обычные

ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01–0,05 мкм служат надежным барьером для патогенных микроорганизмов и вирусов. Они позволяют достичь 99,99%-го удаления вирусов и цист патогенных микроорганизмов, в том числе *Giardia* и *Cryptosporidium*, и практически 100%-го задержания бактерий и простейших [5].

Второе направление развития ультрафильтрации – использование ее как альтернативного высокотехнологичного процесса в схемах очистки и кондиционирования природной воды. Главным достоинством данной области применения мембранной технологии является возможность получения высоких эффектов очистки без использования дополнительных стадий обработки воды и реагентов.

Для регионов, сталкивающихся с проблемой нехватки пресной воды, но располагающими запасами морской воды, наибольший интерес представляет третье направление, связанное с предпочтительностью перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливания поверхностных вод для нужд питьевого водоснабжения, промышленности и энергетики. Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, включающей коагуляцию, отстаивание и многоступенчатое фильтрование, можно получить воду с очень низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ и в результате повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран, сократить частоту их химических промывок.



Рис. 4. Внешний вид станции. Мембранные блоки, общая подача – 100 м<sup>3</sup>/ч

Станция очистки воды (рис. 4) включает в себя напорные аэрационные колонны с компрессорами, мембранные блоки, к которым подходят магистрали подачи исходной воды, отвода фильтрата и промывной воды (рис. 5), систему обратной промывки, состоящую из напорных баков и насосов обратной промывки, при необходимости – установку обеззараживания воды. Ультрафильтрационная установка может работать под напором скважинных насосов или с дополнительными насосами повышения давления [6].



Рис. 5. Ультрафильтрационный блок производительностью 15–20 м<sup>3</sup>/ч

Еще одна актуальная сфера применения ультрафильтрации – обессоливание воды для технологических нужд промышленных предприятий.

В случае, если предприятие имеет технический водопровод, в котором находится вода из поверхностного водоисточника, прошедшая только грубую механическую очистку, то по своему составу эта вода характеризуется обычно повышенным содержанием взвешенных и коллоидных веществ (мутности), органических гуминовых веществ (цветности), бактерий и т. д.



Рис. 6. Система для предподготовки воды перед ионообменной установкой производительностью 6–7 м<sup>3</sup>/ч

Традиционно на многих производствах вода из технического водопровода используется для оборотных систем охлаждения оборудования. Однако современные виды оборудования (например, компрессоры) для охлаждения требуют воду с характеристиками по взвешенным веществам и цветности, соответствующими воде питьевого качества. В случае использования специального оборудования (например, ионообменной или обратноосмотической схемы для глубокого умягчения перед парогенераторами) подаваемая вода также должна соответствовать требованиям

СанПиН 2.1.4.10–74–01 и требует специальной подготовки.

Внешний вид подобных систем показан на рис. 6 и 7 [3].



Рис. 7. Мини-установка получения воды питьевого качества из поверхностного источника производительностью 200 л/ч

#### Выводы

Не смотря на успехи внедрения ультрафильтрационной технологии в очистке поверхностных вод, и в доочистке водопроводной воды, возможности дальнейшего расширения области применения этого метода необходимо изучать. Использование ультрафильтрационных мембран ограничено видами возможных загрязнений, содержащихся в воде.

Ультрафильтрационные мембраны, например, не позволяют существенно снижать цветность и окисляемость воды. Большинство органических соединений, содержащихся в природных водах, имеет молекулярный вес менее 3000–5000 и размеры молекул от 10 нм и менее. Следовательно, типичные ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01 мкм и отсечением по молекулярной массе порядка 100 000–200 000 не должны задерживать эти вещества [7].

В этом случае специалисты создают многоступенчатые комбинированные схемы с использованием различных технологических процессов.

#### Литература

1. С.С.Шоботов, О.О. Квитка, З.В.Малецкий. Структурная оптимизация двухстадийной мембранной системы деминерализации морской воды. Вода и водоочистные технологии. Научно-технические вестники. №2 (2) - 2010. – С.59–72
2. [http://www.rwssystem.ru/uu\\_oow.html](http://www.rwssystem.ru/uu_oow.html)
3. [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3435](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3435)  
[http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3435](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3435)  
Метод ультрафильтрации в современном

- водоснабжении проблемы и перспективы. А. Г. Первов, А. П. Андрианов, МГУ.
4. Mavrov V., Chmiel H., Kluth J., Meier J., Heinrich F., Ames P., Backes K., Usner P. Comparative study of different MF and UF membranes for drinking water production. // *Desalination*. 1998. V. 117, p. 189-196.
  5. Knops F.N.M., Franklin B. Ultrafiltration for 90 MLD Cryptosporidium and Giardia free drinking water: a case study for the Yorkshire Water Keldgate Plant. // *Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3-6 October)*. 2000. V. 1, p. 71-78.
  6. Андрианов А.П., Первов А.Г. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях // *Проекты развития инфраструктуры города: Сб. науч. трудов. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды*. М., 2004.
  7. Schfer A.I., Fane A.G., Waite T.D. Cost factors and chemical pretreatment effects in the membrane filtration of waters containing natural organic matter. // *Water Resources*. 2001. V. 35, No. 6, p. 1509-1517.

## NEW DESALINATION TECHNOLOGY

**Summary.** Recently developed complex methods of water purification using ultrafiltration membranes are analyzed in terms of their applicability to the desalination of seawater. The prospects of using of ultrafiltration membranes in technologies of water treatment are discussed

**Keywords.** desalting, types of ultrafiltration membranes, directions uses of ultrafiltration