

УДК 628.16.067.1

**ИННОВАЦИИ В СПОСОБАХ ОЧИСТКИ
ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАН
INNOVATIONS IN METHODS OF CLEANING
OF RETURN-OBSERVATION MEMBRANES**

О.Г. Сизоненко, Д.С. Соколов, И.В. Гриневич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
O. Sizonenko, D. Sokolov, I. Grinevich
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Рассмотрены известные на данный момент способы очистки обратноосмотических мембран от различных загрязнений. Более подробно затронуты исследования, проводимые для изучения всех достоинств и недостатков инновационного метода очистки – ультразвукового.*

***Abstract:** The currently known methods of cleaning reverse osmotic membranes from various contaminants are considered. The research conducted to study all the advantages and disadvantages of the innovative method of ultrasonic cleaning is discussed in more detail.*

***Ключевые слова:** мембрана, обратный осмос, ультразвук, фильтрация, очистка.*

***Keywords:** membrane, reverse osmosis, ultrasound, filtration, purification.*

Введение

Узкие поры обратноосмотических мембран эффективно адсорбируют из воды большую часть органических и неорганических примесей, а также микроорганизмов. Постепенно мембрана забивается взвешенными частицами, осадком из нерастворимых веществ. Это приводит к понижению производительности и селективности. Скорость загрязнения можно замедлить, для этого, перед подачей в мембранный аппарат, разделяемые растворы подвергают предварительной обработке: проводят коагуляцию с последующим осаждением, фильтруют на песчаном фильтре. Далее на микрофильтре подкисляют раствор, чтобы предотвратить выпадение солей жёсткости и так далее.

Однако, со временем, всё же появляется необходимость в очистке мембран от загрязнений. Используют разные методы очистки. Их разделяют на четыре группы: механические, гидродинамические, химические и физические.

Основная часть

Наиболее простым методом является механическая очистка. Метод заключается в непосредственном механическом воздействии на поверхность мембраны губкой, мыльной шваброй и т.п. Этот способ довольно эффективен, однако применяется только в некоторых аппаратах с плоскопараллельной укладкой мембран, а также в аппаратах с трубчатыми мембранами.

Аналогичным способом очищают поверхности мембран в лабораторных ячейках с мешалками.

Гидродинамические способы очистки связаны с промывкой водой или реагентами частей мембран и включают в себя: промывку напорного канала сильной струей воды, промывку напорного канала пульсирующим потоком, промывку газожидкостной эмульсией, обратную промывку пермеатом и способ резкого сброса давления.

На практике, наибольшее распространение получил способ, заключающийся в промывке напорного канала модулей сильной струей воды. Это самый простой среди всех гидродинамических способов очистки. Через мембранные аппараты разделяемый раствор, в виде промывочной воды, с большой скоростью и низким давлением прокачивается через мембранные аппараты. Чем выше скорость, тем эффективнее очистка. Единственное ограничение – это допустимый перепад давлений для модуля, из-за гидравлического сопротивления он может стать чрезмерно большим.

При подаче в напорный клапан пульсирующего потока, возникают гидравлические удары, которые вызывают отслаивание осадков от мембраны. Способ применяют только в аппаратах обратного осмоса определенной конструкции, где мембрана, подложка и опора, противостоящая давлению, прочно связаны друг с другом и образуют единое целое. Если конструкция будет другой, то мембрана очень быстро выйдет из строя и потребуется её замена.

При подаче в напорный канал газожидкостной эмульсии, эффективность очистки мембраны будет выше, чем при промывке сильной струей, однако данный метод редко задействуется на практике, так как сложнее в организации и дороже.

При обратной промывке, пермеат подается насосом под мембрану, где проходит через нее в направлении, противоположном направлению потока при фильтрации, и поступает в напорный канал. В следствии чего осадки, перекрывающие поры на мембране, отслаиваются, и удаляются загрязнения из самих пор мембраны. Этот способ также применяется в конструкциях, где мембрана, подложка и опора образуют единое целое.

В способе, заключающемся в резком сбросе давления, мембрана при резком понижении давления расширяется и в то же время возникает осмотический поток со стороны пермеата, который приводит к отслаиванию загрязнений от мембраны. Далее в напорный канал подается сильный поток воды, сопровождающийся резким сбросом давления, который и вымывает все загрязнения.

Гидродинамические методы очистки проще и дешевле по сравнению с химическими. Но с их помощью удастся удалить только концентрационный поляризационный слой, который не связан с мембраной.

Химические методы очистки мембран дороже, так как большими затратами на химические реагенты и образованием сточных вод. Также химические методы приводят к значительному уменьшению срока службы мембран с невысокой стойкостью к химическим реагентам. Однако, несмотря на это, химические методы применяются чаще всего, так как часто остаются

единственными эффективными. Для того чтобы метод работал эффективно, необходима оснащение промывочной системой установки обратного осмоса, в результате чего усложняется технологический процесс и сильно повышаются в стоимости установки.

Физические методы очистки не смогли выйти за рамки лабораторных исследований. Основой метода является использование магнитных, ультразвуковых и электрических полей для воздействия на мембрану. Такая очистка позволила бы использовать мембранный аппарат без его остановки, что невозможно при других методах очистки.

На данный момент наиболее перспективным методом удаления загрязнений с обратноосмотических мембран, является метод, использующий механические колебания ультразвукового диапазона – известные как ультразвуковые (УЗ) колебания. Основное физическое явление, которое лежит в основе воздействия ультразвука, является кавитация, то есть образование, рост и сжатие пузырьков в жидкости. Такие пузырьки или полости образуются ультразвуковыми волнами, которые проходят через среду в серии чередующихся циклов сжатия и расширения. В жидкости начинается образование горячих точек, где температура и давление газа в полости повышаются до чрезвычайно высоких значений из-за расширения и коллапса пузырьков в местах зарождения внутри жидкости. Ультразвук создаёт турбулентность вблизи поверхности мембраны и отделяет частицы под действием кавитационных пузырьков. Характеристики пузырьков, которые образуются внутри системы, имеют важное значение в оценке эффективности применения ультразвука. Отделение частиц может сильно снизить общее сопротивление потоку через мембрану, что приведёт к повышению производительности фильтрации. Рассмотрим основные положения, на которых основывались исследования ультразвукового способа очистки загрязнений по типовой номенклатуре [1, 2].

Ультразвук - это звуковая (акустическая) волна, распространяющаяся с частотой более 20 кГц, что превышает нормальный диапазон человеческого слуха. Ультразвук обладает исключительными химическими и физическими свойствами, в отличие от слышимого диапазона звука, передавая высокую механическую мощность через небольшие механические движения. Для обработки и промышленной очистки зачастую используют диапазон ультразвуковых частот от 20 до 500 кГц.

УЗ-колебания эффективно себя показывают в процессах, в которых реагенты находятся в жидком состоянии, т.к. именно в жидкостях протекает такой специфический процесс как УЗ-кавитация, который обеспечивает максимальные энергетические воздействия на вещества. В зависимости от параметров УЗ-колебаний, их воздействие на жидкие реагенты может ускорить растворение, дегазацию, обезжиривание, пропитку, измельчение; предотвратить образование накипи, химические и электрохимические реакции, эрозию.

Относительно небольшое количество исследований было посвящено использованию ультразвука для устранения или предотвращения загрязнения мембран.

В представленном исследовании ультразвук использовался для очистки мембраны обратного осмоса на основе полиамида, загрязненной как органическими, так и неорганическими загрязнителями. Во всех испытаниях использовалась дистиллированная вода. Экспериментальная установка показана на рисунке 1. Ультразвуковая очистка в режиме реального времени использовалась для удаления загрязнений с мембраны обратного осмоса на основе полиамида во время фильтрации растворов $CaSO_4$, Fe^{3+} и карбоксилцеллюлозы. В каждом случае поток проникающего вещества мембраны значительно увеличивался, при этом практически не уменьшалось отторжение в присутствии ультразвука.

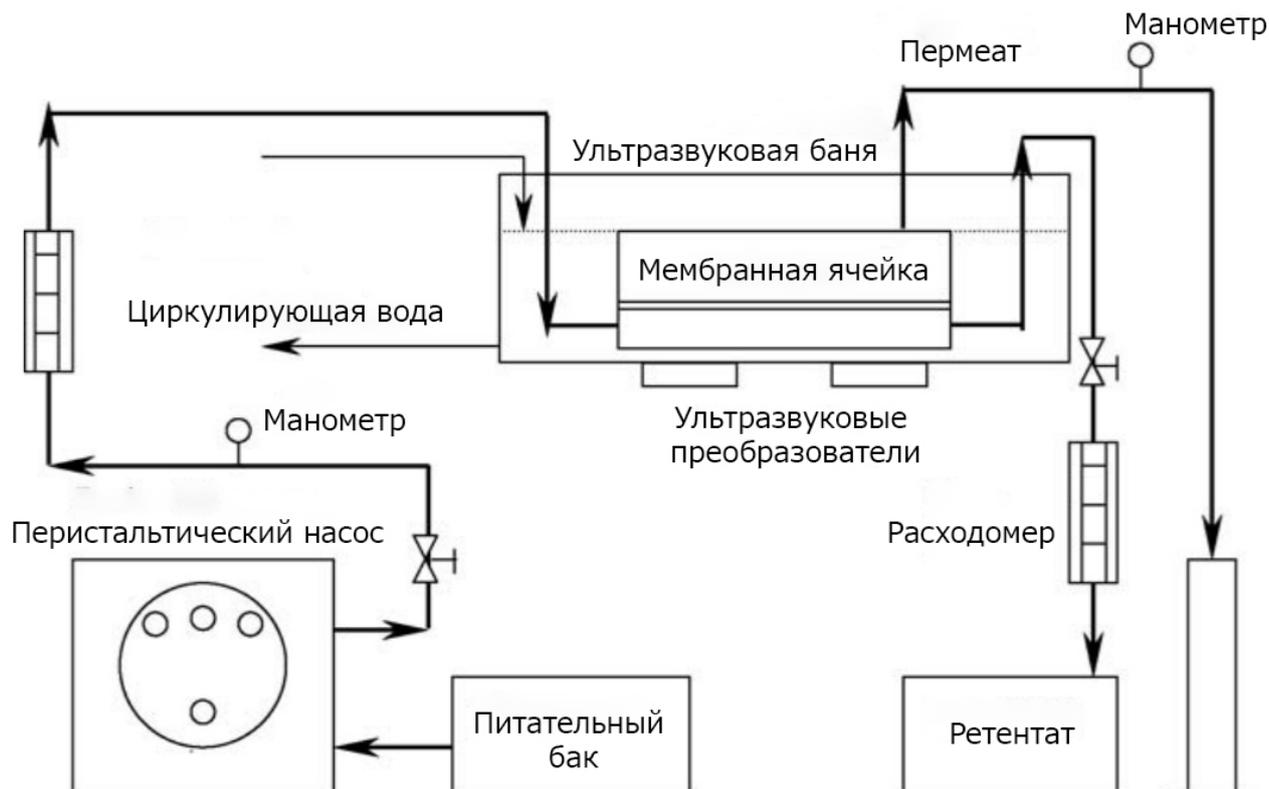


Рисунок 1 – Принципиальная схема мембранной фильтрации в ультразвуковой ванне

Мембрану помещали в блок фильтрации с поперечным потоком, который погружали в ультразвуковую ванну с водой (30 см × 24 см × 20 см). Ванна была способна генерировать ультразвук с частотой 20 кГц и интенсивностью мощности 2,8 Вт/см². Эффективная площадь мембранной фильтрации составляла 14 см × 4 см. Температура растворов в питательном баке поддерживалась на уровне 20 °С с точностью до ±1 °С. В ходе экспериментов скорость потока растворов и рабочее давление поддерживались на уровне около 5 мл/мин и 100 кПа соответственно. Все мембраны были вырезаны из одного листа мембраны для всех экспериментов по фильтрации на одних и тех же типах растворов. Все мембраны были погружены в дистиллированную воду на 24 часа перед экспериментами по фильтрации.

Ультразвуковая очистка, в режиме реального времени, мембран обратного осмоса на основе полиамида, использованных в этом исследовании, привела к значительному увеличению пропускной способности практически без потерь

при отбраковке. В среднем пропускная способность увеличилась примерно на 50,8 % для раствора CaSO_4 в дозе 500 мг/л и примерно 69,7 % для 1000 мг/л раствора CaSO_4 в течение 3 ч фильтрации в присутствии ультразвука. Аналогично, пропускная способность увеличилась примерно на 215 % для раствора FeCl_3 с 20 мг/л Fe^{3+} в течение 3 ч фильтрации в присутствии ультразвука. Исследования поверхностей мембран с использованием электронного микроскопа показали, что ультразвук может эффективно удалять как неорганические загрязнения CaSO_4 , так и гидроксид железа (III), и органические загрязнения на поверхности мембраны.

Однако, хотя исследования показали эффективность ультразвука как метода улучшения очистки мембран и потока, практическое применение ультразвука в процессах разделения, зависящих от мембраны, все еще сталкивается с рядом серьезных проблем. Одна из таких проблем связана с повреждением мембраны. При воздействии ультразвука мембраны могут стать уязвимыми для повреждения из-за интенсивного кавитационного коллапсирования, зависящего от мощности, частоты и времени облучения ультразвуком. В ряде исследований были предложены примеры потери целостности мембраны и повреждения мембраны, вследствие воздействия ультразвука. Интенсивность ультразвуковой мощности должна быть тщательно скоординирована, чтобы свести к минимуму потребление энергии и возможное повреждение мембраны. Количество исследований, посвященных исключительно повреждению мембран, вызванному ультразвуком, относительно невелико. Существует нехватка исследований мембранных материалов, которые могли бы обеспечить широкий диапазон потенциальных сопротивлений повреждениям, наносимым ультразвуковой обработкой. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования для надлежащей оценки воздействия ультразвука на целостность мембран, состоящих из разнообразных материалов.

Еще одна ключевая проблема, которую необходимо решить, связана с индустриализацией мембранного процесса с помощью ультразвука. Подавляющее большинство всех исследований, по применению ультразвука для очистки мембран и улучшения потока, были проведены с помощью лабораторных установок с поперечным потоком. Несмотря на большое количество таких ультразвуковых исследований, эффективное коммерческое применение ультразвуковой технологии требует дальнейших углубленных тематических исследований, с использованием крупномасштабного мембранного процесса, однако в настоящее время они недоступны. Необходимо провести новые исследования, касающиеся актуальности ультразвука для очистки полномасштабных мембранных модулей. В научно-исследовательском сообществе существует общее мнение о том, что ультразвук является весьма обнадеживающим методом очистки мембран и улучшения потока, однако экономическая ценность и возможность промышленного применения по-прежнему являются проблемами, которые необходимо решить. В зависимости от реальных условий эксплуатации, требования к мощности ультразвука могут быть настолько высокими, что ограничат его применимость в промышленных масштабах. В настоящее время не проводилось исследований по конкретным

экономическим аспектам процессов ультразвуковой или мембранной очистки. Таким образом, экономическая целесообразность ультразвуковой очистки мембран и улучшения потока требует срочного реагирования. Точный источник ультразвука также создает еще одну проблему, когда речь заходит об эффективном применении ультразвука в крупномасштабных мембранных процессах.

Заключение

В результате исследований в области технологий, ультразвуковые преобразователи приобретают все большее значение. Дополнительная экспериментальная работа необходима для изучения эффективности ультразвука в процессах улучшения потока и промывки, для различных типов мембранных модулей. Большинство исследований было сосредоточено на плоских листовых мембранах, но лишь небольшое количество исследований посвящено спирально намотанным или полым волоконным мембранам, для которых применение ультразвука является гораздо более трудоемким из-за конфигурации мембраны.

Литература

1. Ладыгин К.В. Очистка загрязнений на обратноосмотических мембранах с использованием ультразвуковых волн / К.В. Ладыгин // Вести газовой науки. – 2017. – Спецвыпуск № 1. – С. 125–130.
2. Qasim M., et al. The use of ultrasound to mitigate membrane fouling in desalination and 960 water treatment / M. Qasim // Desalination. – 2018. – № 443. – P. 143–164.