

3. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник. Изд.4-е, доп. и перераб. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. - 702 с.
4. Перельгин Ю. П. Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств: учеб.пособие / Ю. П. Перельгин, О. В. Зорькина, И. В. Рашевская, С. Н. Николаева // Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. – 80 с.
5. Ильин В. И. Способ очистки сточных вод от ионов свинца/ В.И. Ильин, В.А. Колесников, А.В. Перфильева; заявитель и патентообладатель Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева. № 2009125321/05; заявл. 02.07.2009; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.– 6 с.
6. Румянцева З.М. Электрохимические методы очистки природных и сточных вод / З.М. Румянцева// М., 1971.– С.258-259.
7. Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика, пер. с англ., 2 изд. – Л., 1972. – С. 126.
8. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. - М.: Минздрав СССР, 1979. – 25 с.
9. Перельман В.И. Краткий справочник химика /В. И. Перельман // М.: Научно-техническое издательство химической литературы, 2013. – 560 с.

УДК 628.16

## МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ВОДЫ

*А. О. Сухова<sup>1</sup>, И. В. Хорохорина<sup>2</sup>, А. В. Нехорошева<sup>3</sup>, Ю. С. Савченкова<sup>4</sup>,  
А. А. Дубовицкий<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Доцент, Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), Тамбов, Россия, apil1@yandex.ru

<sup>2</sup>Доцент, ТГТУ, Тамбов, Россия, kotelnikovirina@yandex.ru

<sup>3</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, nehorosheva126@gmail.com

<sup>4</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, yulya\_medvedeva\_2015@inbox.ru

<sup>5</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, doobasss68@gmail.com

### **Аннотация**

Данная статья знакомит с перспективами использования мембранных технологий и их преимуществами над другими видами водоподготовки. Также рассмотрены виды мембран и их различия.

**Ключевые слова:** мембранные технологии, водоподготовка, фильтрация, очистка воды, селективность.

## MEMBRANE TECHNOLOGIES AS A HIGH-TECH WATER TREATMENT PROCESS

*A. O. Sukhova<sup>1</sup>, I. V. Khorokhorina<sup>2</sup>, A. V. Nekhorosheva<sup>3</sup>, Y. S. Savchenkova<sup>4</sup>,  
A. A. Dubovitckii<sup>5</sup>*

### **Abstract**

This article introduces the prospects of using membrane technologies and their advantages over other types of water treatment. The types of membranes and their differences are also considered.

**Keywords:** membrane technologies, water treatment, filtration, water purification, selectivity.

**Введение.** Проблема чистой воды остро стоит в самых разных регионах нашей страны. Загрязнение почвенных вод и открытых водоемов промышленными и бытовыми стоками, а также остатками минеральных удобрений не позволяет употреблять воду без предварительной очистки. Одним из наиболее передовых методов фильтрации воды считается её мембранная очистка. Сегодня мембранные технологии являются высокотехнологичным процессом подготовки воды и применяются практически во всех отраслях – от добычи и переработки нефти до производства соков и фармацевтики.

С экологической точки зрения в последние дни оправданным и перспективным становится использование гибридных методов очистки с использованием каталитической мембранной сепарации в аппаратах нового поколения, т.к. они способствуют образованию простых и менее токсичных соединений, что отвечает ужесточающимся требованиям законодательства.

В водной промышленности мембранная технология используется для улучшения качества воды, ее повторного использования или сброса в окружающую среду.

Задачами мембранной технологии применительно к сточным водам предприятий химии и нефтехимии являются:

- очистка стоков, содержащих нефтепродукты;
- очистка стоков, содержащих растворенные и эмульгированные органические загрязнения;
- вывод и утилизация нефтепродуктов, возврат очищенной воды на повторное использование или сброс в канализацию;
- концентрирование и очистка органических компонентов, возврат очищенной воды на повторное использование;
- доочистка воды после очистных сооружений (удаление остаточной биомассы, органических загрязнителей, снижение цветности и др.);
- удаление биологически стойких загрязнений.

Мембраны варьируются от мелкопористых структур до непористых и могут удалять загрязняющие вещества, такие как бактерии и простейшие, вплоть до ионов [1].

Преимущества мембранной технологии включают ее модульный характер, качество воды в продукте, относительно небольшая занимаемая площадь и, в некоторых случаях, более низкое энергопотребление, а также долговечность самих мембран, надежность и возможность автоматизации процессов очистки.

Применение мембранных технологий позволяет улучшить качество воды, уменьшить количественный сброс загрязняющих веществ в водоемы и снизить забор природных вод за счет повторного использования очищенных сточных вод.

Растущий дефицит воды в сочетании с устойчивым улучшением характеристик мембран, затрат и спроса на энергию приведет к устойчивому росту использования мембран в водной промышленности в обозримом будущем [2]. Было выявлено, что традиционные методы очистки воды неэффективны для удаления некоторых загрязняющих веществ, и что на этапе обеззараживания могут образовываться новые вредные соединения (например, трихлорметан в

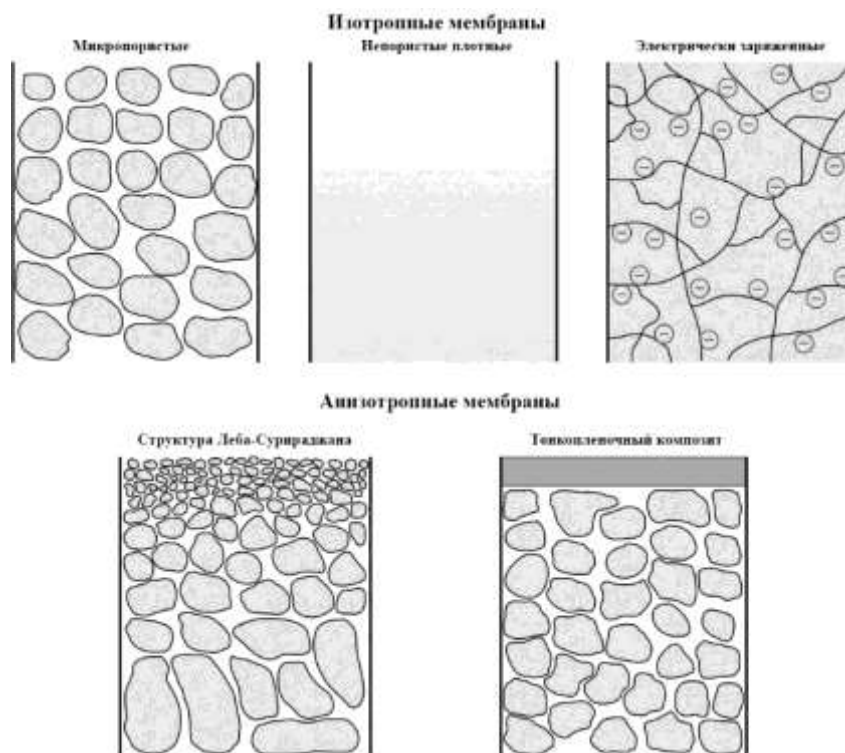
результате реакции между хлором и природным органическим веществом). Мембранные процессы могли бы стать решением для усовершенствованной физической обработки воды для питьевых целей, отличных от рекуперации сточных вод.

Мембранная очистка сточных вод основана на использовании процесса фильтрации воды. Все мембранные процессы имеют мембрану, которая является основным фильтрующим элементом, представляющим собой полупроницаемую перегородку, имеющую пористую структуру. Термин «полупроницаемая» означает, что одно вещество мембрана, как и другие фильтрующие материалы, пропускает, а другое задерживает. Это свойство называется селективностью компонентов смеси, что является основным свойством мембраны.

Мембранный процесс и процесс фильтрации имеют кажущееся сходство.

Обычное фильтрование применяют для удаления из воды относительно крупных образований – дисперсных и крупных коллоидных примесей, а мембранные технологии – для извлечения мелких коллоидных частиц, а также растворенных соединений. Через полупроницаемую мембрану пропускаются только молекулы воды, а все частицы, микроорганизмы и органические молекулы с большим молекулярным весом – задерживаются. Для этого мембраны должны иметь поры очень малого размера. Из-за очень малого размера пор процесс очистки воды на мембране является достаточно медленным, что требует достаточно высокого давления и использования мембран с большой площадью поверхности. Следует отметить, что к полупроницаемым разделительным мембранам относятся только те материалы, которые обеспечивают разделение смесей на поверхности материала.

Мембрана – это тонкая физическая граница раздела, которая препятствует прохождению определенных видов веществ в зависимости от их физических и/или химических свойств (рисунок 1).



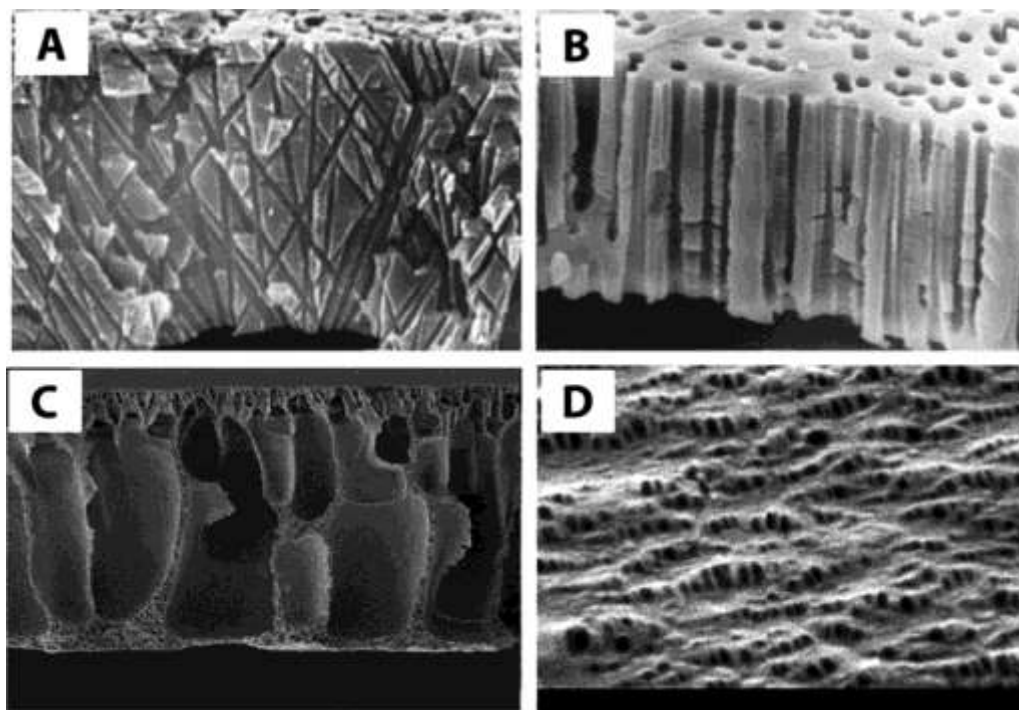
**Рисунок 1** – Схематическая иллюстрация различных классов мембран

Изотропные мембраны имеют химически однородный состав, в то время как анизотропные мембраны неоднородны как химически, так и структурно.

Примеры изотропных мембран включают: микропористые мембраны, непористые плотные пленки и электрически заряженные мембраны [3]. Пористые мембраны обычно разделяют растворенные вещества в зависимости от размера частиц и размера пор. Микропористые мембраны аналогичны обычному фильтру, но диаметр пор обычно колеблется в пределах 0,1–5 мкм (обычные фильтры используются для частиц размером более 1-10 мкм, поэтому диаметр их пор обычно превышает 5 мкм).

Микропористые мембраны часто изготавливаются на основе полимеров с травлением дорожек (непористые полимерные пленки облучаются тяжелыми ионами для образования дорожек через пленку), инверсией фазы (контролируемое превращение из гомогенного полимерного раствора в твердое состояние, вызванное осаждением погружением) или растянутыми полимерными пленками (технология без растворителей, при которой полимеры нагреваются выше точки плавления и экструдированы в тонкие пленки с последующим растягиванием) (рисунок 2) [4].

В случае непористых плотных пленок перенос проникающих веществ происходит за счет диффузии, обусловленной приложенной силой, такой как давление, концентрация или градиенты электрического поля. Следовательно, разделение растворенных веществ определяется их относительными скоростями переноса.



**Рисунок 2** – Изображения в поперечном сечении (А) цилиндрических непараллельных пористых каналов с дорожечным травлением из поликарбоната и (Б) полипропиленовой мембраны с дорожечным травлением со слегка коническими параллельными порами. Полиэфир-*g*-метоксиполиэтиленгликоль (Peg-MPEG), смешанный с мембраной из поливинилиденфторида (PVDF) методом инверсии фаз (С). (D) - изображение поверхности двух полипропиленов (PP28 и PP08), содержащих 10 мас.% PP08 и растянутых как в холодном, так и в горячем состоянии [5]

Электрически заряженные мембраны могут представлять собой либо непористые плотные пленки, либо микропористые структуры, состоящие из положительно или отрицательно заряженных ионов, нанесенных на стенки мембраны (известные как анионообменные или катионообменные мембраны соответственно). Разделение растворенных веществ, в первую очередь, достигается за счет концентрации ионов анализируемого вещества и исключения заряда (т.е. растворенное вещество с тем же зарядом, что и ионы на стенках мембраны, отбрасывается за счет кулоновского отталкивания) [4].

Существует два основных типа анизотропных мембран: мембраны с разделением фаз (мембраны Леба-Сурираджана) и композитные мембраны, такие как тонкопленочные пленки, пленки с покрытием и самосборные структуры.

Мембраны Леба-Сурираджана однородны по химическому составу, аналогичному изотропным микропористым мембранам, но размеры пор и пористость варьируются в зависимости от толщины мембраны. Разработка таких анизотропных мембран в начале 1960-х годов стала крупным прорывом в области мембранной технологии [5].

Композитные мембраны, такие как тонкопленочные мембраны, химически и структурно неоднородны. Тонкий поверхностный слой поддерживается гораздо более толстой пористой структурой (функционирующей как механическая опора), и эти структуры традиционно изготавливаются из различных полимерных материалов. Мембраны этого класса, изготовленные такими методами, как межфазная полимеризация, нанесение покрытия раствором и плазменная полимеризация, были созданы для различных процессов фильтрации.

Разделение растворенных веществ и скорость проникновения мембраны определяются исключительно тонким поверхностным слоем, что приводит к высокому потоку. Типичные полимерные материалы для промышленных фильтрующих мембран включают ацетаты целлюлозы, полиакрилонитрил, полиэфиримиды, полиэфирсульфоны, полиамид, поликарбонаты, сшитый полиэфир, полипропилен и поливинилиденфторид.

**Заключение.** Внедрение мембранных технологий поднимает планку требований к качеству питьевой воды и обработки сточных вод, что актуально в условиях быстрого роста потребления воды. Также они способствуют более интенсивному развитию сектора водоснабжения и необходимости модернизации уже действующего оборудования в системах водоснабжения. Применение мембранных технологий в водоподготовке обещает снизить затраты на процесс очистки воды путем уменьшения размеров очистных установок и сокращения энергопотребления.

#### Список цитированных источников

1. Иванов, А. А., Смирнов, Д. С. Мембранные технологии для очистки воды. М.: Техносфера, 2019. – 189 с.
2. Кузнецов, П. Н., Соколов, С. А. Мембранные методы очистки воды: теория и практика. М.: Экология, 2020. – 223 с.

3. Горелик, Л. Б., Соловьев, С. В. Биофизические основы мембранных технологий в водоочистке // Журнал прикладной биохимии и микробиологии. 2017. № 53(1).С. 40-49.
4. Жданов, С. П., Марков, А. В. Применение мембранных технологий в водоподготовке // Химическая техника и водоочистка. 2019.№ 82(5). С. 243-251.
5. Белов, А. В., Колесников, А. А. Использование мембранных методов для очистки воды от микроорганизмов // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 89(5). С 59-65.

УДК 628.16

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

*А. О. Сухова<sup>1</sup>, И. В. Хорохорина<sup>2</sup>, А. В. Нехорошева<sup>3</sup>, Ю. С. Савченкова<sup>4</sup>,  
А. Н. Корнеев<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Доцент, Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), Тамбов, Россия, [apill@yandex.ru](mailto:apill@yandex.ru)

<sup>2</sup> Доцент, ТГТУ, Тамбов, Россия, [kotelnikovirina@yandex.ru](mailto:kotelnikovirina@yandex.ru)

<sup>3</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [nehorosheva126@gmail.com](mailto:nehorosheva126@gmail.com)

<sup>4</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [yulya\\_medvedeva\\_2015@inbox.ru](mailto:yulya_medvedeva_2015@inbox.ru)

<sup>5</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [artemspartaks@mail.ru](mailto:artemspartaks@mail.ru)

### Аннотация

В данной статье рассмотрено мембранное моделирование, как оптимизация процесса фильтрации.

**Ключевые слова:** мембранные технологии, мембранное моделирование, фильтрация.

## MODELING OF PROCESSES OF MEMBRANE SEPARATION OF WASTEWATER AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

*A. O. Sukhova<sup>1</sup>, I. V. Khorokhorina<sup>2</sup>, A. V. Nekhorosheva<sup>3</sup>, Y. S. Savchenkova<sup>4</sup>,  
A. N. Korneev<sup>5</sup>*

### Abstract

This article discusses membrane modeling as an optimization of the filtration process.

**Keywords:** membrane technologies, membrane modeling, filtration.

**Введение.** Система моделирования позволит спрогнозировать производительность мембраны, но и также поможет оптимизировать процесс разделения. Точное моделирование прольет свет на механизмы разделения во время филь-