

На правах рукописи



Ландырев Алексей Михайлович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
МИКРОПОРИСТОЙ МЕМБРАНЫ В СИСТЕМАХ
ВОДОПОДГОТОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

05.17.18 – мембраны и мембранная технология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на кафедре промышленной экологии.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор **Десятов Андрей Викторович**, профессор кафедры промышленной экологии, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева.

Официальные оппоненты: доктор химических наук, старший научный сотрудник **Апель Павел Юрьевич**, заместитель по науке начальника Центра прикладной физики Лаборатории ядерных реакций, Объединенный институт ядерных исследований г. Дубна.

кандидат технических наук **Козодаев Алексей Станиславович**, доцент кафедры “Экология и промышленная безопасность”, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана.

Ведущая организация: Московское государственное унитарное предприятие "ПРОМОТХОДЫ"

Защита состоится “19” января 2017 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.204.06 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре и на сайте РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.06



В. Т. Новиков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Применение мембран с точки зрения разделения водных смесей различного происхождения и состава имеет повседневный спрос и широко используется в таких отраслях промышленности как: химическая, нефтехимическая, газовая, фармацевтическая, микробиологическая, атомная, электронная, пищевая, сельское хозяйство, медицина, водоподготовка с различными целевыми назначениями, в аналитическом приборостроении и прочих. Использование мембран в различных областях промышленности является частью научно-технического прогресса современного производства, и занимают лидирующее положение в национальных программах развитых стран. Отличительные свойства мембранных процессов разделения водных смесей – простота аппаратного устройства, высокая эффективность, надежность, низкая энергоемкость, минимизация массовых характеристик, эргономичность.

Применение мембранных установок, связано с неудовлетворительным качеством воды в таких отраслях промышленных предприятий как металлургия, металлообработка, теплоэнергетика, гальваническое производство, микроэлектроника, пищевое производство. Очистке может быть подвержена сточная, скважинная и вода, поступающая на предприятия с различных поверхностных источников (река, озеро, море и т.д.). В связи, с жесткими требованиями к качеству воды для использования в различных технологических операциях на промышленных предприятиях часто применяют для ее очистки системы обратного осмоса. Системы обратного осмоса позволяют получить требуемое качество воды, но также существует и ряд требований к воде, поступающей на обратноосмотические мембраны. Требования применяются к таким параметрам как нефтепродукты, активный хлор, взвешенные и коллоидные вещества, цветность воды, обусловленная присутствием гуминовых веществ, различные микроорганизмы, рН воды, поверхностно - активные вещества. Данную задачу решают мембраны в составе микро - и ультрафильтрационных элементов. Однако, несмотря на достаточно длительное использование такого типа мембран, существует множество проблем при очистке воды различных составов. К таким проблемам стоит отнести относительно быстрое снижение удельной

производительности, что приводит к частой замене мембранных элементов и остановку работы установок, низкие показатели качества очистки от различных органических веществ (около 20 - 60 %), использование для регенерации мембран различных химических реагентов, что наносит существенный ущерб экологии.

Диссертационная работа выполнена на кафедре промышленной экологии в Российском химико-технологическом университете им.Д.И.Менделеева в период с 2013 - 2016 гг.

Ряд исследований осуществлялся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы” по Соглашению № 14.577.21.0122 от 20 октября 2014 года. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0122.

Цель работы:

Исследование методов повышения эффективности работы микропористой мембраны, в составе микрофльтрационного элемента путем определения оптимальных параметров фильтрации, способов регенерации и применения различных технологических приемов.

Задачи исследования:

1. Исследовать свойства микропористой мембраны с цилиндрическими порами и разработать соответствующую ей конструкцию микрофльтрационного элемента, с возможностью применения обратных промывок, воздействия ультразвуковых волн в процессе работы, в том числе как альтернативный вариант использованию химической регенерации.

2. Осуществить подбор наиболее эффективного соотношения параметров конструкционных частей микрофльтрационных элементов, таких как дренажные и турбулизирующие сетки, с точки зрения получения максимальной удельной производительности.

3. Разработать лабораторные установки различных конфигураций и типов для исследования характеристик микропористых мембран и микрофльтрационных элементов на их основе.

4. Определить влияние различных технологических растворов на прочностные характеристики микропористой мембраны.

5. Определить оптимальные технологические параметры работы и режимы обратной промывки микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран.

6. Провести экспериментальные исследования показателей работы микропористых мембран и микрофльтрационных элементов на их основе в лабораторных условиях и определить влияние различных факторов на селективность и удельную производительность.

7. Провести экспериментальные исследования по повышению эффективности работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран путем воздействия ультразвуковых волн и обработкой воды коагуляцией.

8. Разработать математическую модель фильтрации через микропористую мембрану с цилиндрическими порами в составе микрофльтрационного элемента на основе экспериментально полученных эмпирических зависимостей, провести расчеты характеристик и сравнить их с экспериментальными данными.

9. Разработать рекомендации по выбору оптимальных параметров работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран при работе в составе систем водоподготовки.

10. Провести натурные испытания микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран на различных составах природных и сточных вод.

Научная новизна

1. Усовершенствована конструкция микрофльтрационного элемента на основе микропористых мембран, позволяющая использовать метод гидравлической регенерации путем применения обратных промывок в сочетании с ультразвуковым воздействием.

2. Получены новые экспериментальные и расчетные данные по технологическим параметрам и показателям очистки на различных средах и режимам обратной промывки для микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран.

3. Разработана математическая расчетная модель, позволяющая сравнивать данные, полученные эмпирическим и расчетным путем.

4. Разработан и впервые применен для данного класса микропористых мембран эффективный безреагентный способ регенерации, основанный на воздействии ультразвуковых волн в процессе работы, позволяющий существенно повысить удельную производительность микрофльтрационных элементов в сравнении с традиционными способами регенерации.

5. Разработаны рекомендации по улучшению показателей работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран, в сравнении с существующими системами за счет выбора оптимальных параметров работы и промывки.

Практическая значимость работы

По результатам экспериментальных данных, полученных в данной работе, были построены микрофльтрационные установки промышленного назначения на следующих объектах:

- Опреснительный завод Каспий в г. Актау, Казахстан
- Система водоподготовки на Московском НПЗ
- Система водоочистки на заводе бутилированной воды в г. Астана
- Система водоподготовки морской воды в порту г. Сингапур.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Конструктивные решения по микрофльтрационному элементу на основе микропористых мембран с цилиндрической формой пор с повышенной удельной производительностью и селективностью.

2. Параметры работы и режимы обратной промывки микропористых мембран в составе микрофльтрационных элементов.

3. Экспериментально полученные показатели очистки по селективности (по цветности, мутности, индексу плотности осадка) и удельной производительности микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран при фильтрации различных сред.

4. Результаты расчета гидравлических характеристик микрофльтрационных элементов.

5. Методы повышения удельной производительности микрофильтрационных элементов на основе микропористых мембран при помощи ультразвуковых волн и путем предварительной обработки воды коагуляцией.

6. Показатели работы микрофильтрационных элементов на основе микропористых мембран в составе промышленных микрофильтрационных систем.

Апробация работы

Основные положения и результаты исследований опубликованы в 5 печатных изданиях, 4 из которых, рекомендованные ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации. Материалы диссертационной работы были представлены на двух Всероссийских научных конференциях с международным участием “Мембраны 2016” и ”Мембраны 2013”.

Структура диссертации

Диссертация включает в себя: введение, пять глав, заключение, список литературы. Объем диссертации составляет 129 страниц машинописного текста, 19 таблиц, 53 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Рассматривается актуальность вопроса предварительной подготовки воды при помощи микро – и ультрафильтрационных систем и существующие проблемы. Определены цели, задачи, научная новизна работы и ее практическая значимость.

Глава 1 Литературный обзор. В главе проведен анализ основных эксплуатационных параметров работы микро – и ультрафильтрационных систем очистки, таких как удельная производительность, перепад давления, ресурс работы, селективность по цветности, мутности, индекса плотности осадка SDI_{15} фильтрата. Определены основные факторы, влияющие на удельную производительность и качество фильтрата. Выявлены основные достоинства и недостатки существующих систем и поставлены задачи исследования для повышения эффективности их работы. Из недостатков существующих систем выявлено, что селективность очистки от цветности имеет низкий показатель – 20 – 60 %, при этом максимальное значение достигается только при помощи дополнительной обработки воды химическими реагентами, что влечет к ухудшению экологической ситуации. Также в

существующих системах для восстановления удельной производительности необходимо проводить периодические химические регенерации, в то время как гидравлические промывки малоэффективны, а применение альтернативных способов регенерации, например, таких как ультразвуковое воздействие малоизучено.

Выбран объект для дальнейших исследований, микропористая мембрана, изготовленная путем химического травления полимерных пленок после обработки пучками высокоэнергетических ионов. Такой тип микрофильтрационных мембран позволяет за счет малой толщины полимерных пленок и близкой к цилиндрической формы поры существенно снизить гидравлические потери и обеспечить повышение удельной производительности. Кроме того, за счет симметричной формы порового канала микропористые мембраны, полученные методом травления треков, позволяют проводить промывку в обратную сторону по линии фильтрата, что существенно повышает эффективность регенерации и продлевает срок службы микрофильтрационного элемента.

Глава 2. Конструкционная и методическая часть. В главе приведено описание экспериментов по усовершенствованию конструкции микрофильтрационного элемента рулонного типа на основе нового класса микропористых мембран, а также методики проведения экспериментов на лабораторных установках различных конфигураций. Внешне, рулонный элемент представляет собой цилиндрическое тело с выступающими концами фильтратоотводящей трубки. Элемент изготавливается спиральной навивкой нескольких мембранных пакетов на трубку с отверстиями для отвода фильтрата. Мембранный пакет состоит из микропористой мембраны, дренажных и турбулизирующих сеток. Цель использования дренажных сеток - отвод фильтрата к трубке, использование турбулизирующих сеток – создание турбулентного потока для снижения концентрационной поляризации и увеличение толщины дренажного канала со стороны отбора фильтрата. Для определения характера течения жидкости обычно используется критерий Рейнольдса и рассчитывается по формуле:

$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\eta} = \frac{V \cdot D}{\nu}$, где: D – гидравлический диаметр поры, м; ρ – плотность среды, кг/м³; V – скорость течения, м/с; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; ν – динамическая вязкость среды, м²/с.

В нашем случае значение критерия колебались в диапазоне – 2500 – 5000, что говорит о переходном характере течения от ламинарного к турбулентному.

Доработка конструкции микрофльтрационного элемента была проведена путем подбора наиболее эффективного соотношения дренажной и турбулизирующей сеток с точки зрения получения максимальной удельной производительности, а также усовершенствование аппарата и его корпуса за счет дооснащения при помощи ультразвукового модуля (Рисунок 1).

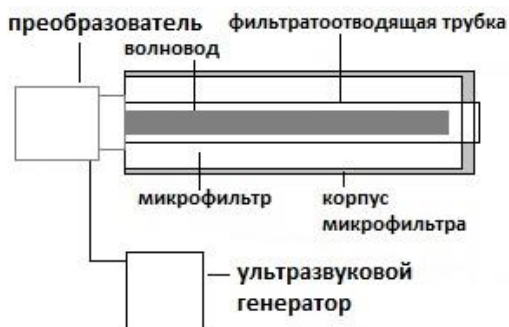


Рис.1. Схема компоновки микрофльтрационного элемента с ультразвуковым модулем.

Результат зависимости удельной производительности от приложенного перепада давления в различных соотношениях дренажных и турбулизирующих сеток представлен на рисунке 2.

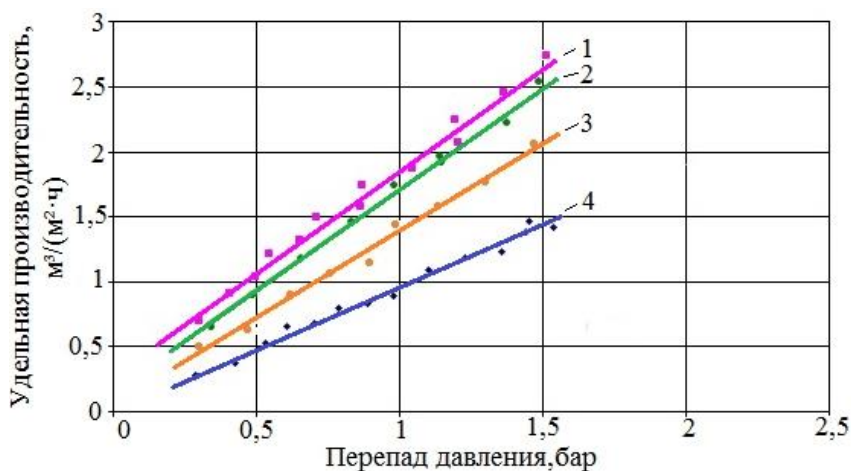


Рис.2. Изменение удельной производительности от приложенного давления в зависимости от конструкции микрофльтрационного элемента.

№ 1– дренажная сетка двойная, одинарная турбулизирующая сетка; № 2– дренажная и турбулизирующие сетки двойные; № 3– дренажная сетка одинарная, турбулизирующая сетка двойная; № 4– дренажная и турбулизирующая сетки одинарные.

Определено, что оптимальным соотношением для микрофильтрационного элемента является двойная дренажная сетка и одинарная или двойная турбулизирующая сетка.

Для проведения экспериментальных исследований на микрофильтрационных элементах и образцах микропористой мембраны были разработаны лабораторные установки и методики проведения экспериментов.

Глава 3. Экспериментальная часть. Глава 3 посвящена описанию исследований прочностных свойств образцов микропористой мембраны под воздействием различных технологических реагентов, а также эксперименты по определению оптимальных параметров работы микрофильтрационных элементов и режимов обратной промывки (таблица 1), и качества фильтрата на длительном промежутке времени работы (таблица 2).

Таблица 1. Параметры работы микрофильтрационного элемента

Параметр работы	Значение	Единица измерения
Трансмембранное давление при фильтрации	0,4 -0,7	бар
Трансмембранное давление при промывке	0,8-1,4	бар
Время гидравлической промывки	45	секунда
Частота гидравлической промывки	1/45	минута
Рабочий диапазон мутности исходной воды	2-40	NTU
Рабочая температура	12-26	°С

Таблица 2. Показатели работы и качество фильтрата микрофильтрационного элемента

Параметр работы	Значение	Единица измерения
Время работы	5000	час
Мутность фильтрата	0,1 - 0,2	NTU
Селективность очистки от взвешенных веществ	95 - 99	%
Эффективность гидравлических промывок	10 - 30	%

Путем проведения экспериментов определены основные факторы, влияющие на селективность и удельную производительность элемента таких как: составы обрабатываемой воды, дисперсность взвешенных веществ в исходной воде, предварительная обработка воды коагуляцией. Исследованы методы повышения эффективности работы, а именно удельной производительности при помощи воздействия ультразвуковых волн и путем применения предварительной обработки воды коагуляцией. Определено, что применение ультразвуковой обработки в процессе гидравлических промывок позволяет повысить удельную производительность в среднем на 30 %, по сравнению с режимом без применения ультразвука (Рисунок 3). При этом разрушения структуры мембраны не происходит, что свидетельствует стабильно высокий показатель селективности очистки на протяжении более 250 часов работы элемента – 90 – 97 %. Данные показатели можно объяснить тем, что при воздействии ультразвуковых волн происходит диспергирование плотного осадка на поверхности мембраны и снижение явления концентрационной поляризации. Концентрация взвешенных веществ в промывной воде при обратных промывках с применением ультразвука превышала показатели без воздействия в 5 и более раз, что свидетельствует о наиболее эффективной регенерации.

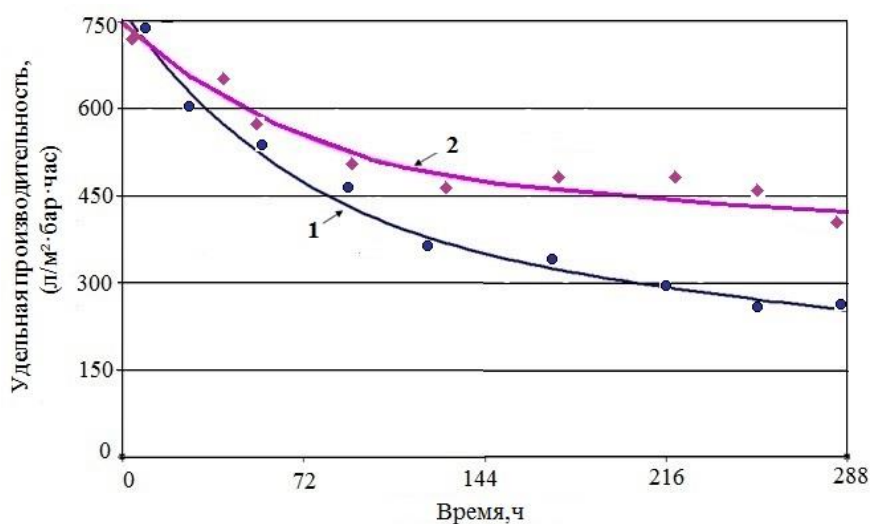


Рис.3. Степень падения удельной производительности при различных режимах регенераций.

Режим 1- без применения ультразвука; режим 2 – с применением ультразвука.

Эксперименты по проведению дополнительной обработки исходной воды при помощи различных коагулянтов и флокулянтов позволили существенно повысить качество фильтрата при фильтрации различных составов воды (таблица 3). При этом происходит значительно меньшее снижение удельной производительности микрофильтрационного элемента.

Таблица 3. Селективность очистки различных составов воды

Тип исходной воды	Селективность (взвешенные вещества), %		Селективность (цветность), %	
	Без коагуляции	С коагуляцией	Без коагуляции	С коагуляцией
Морская вода	95	-	30-60	97-98
Сточная вода	90	95-99	-	
Речная вода	90	95-99	30-60	97-98
Скважинная вода	60	-	-	
Скважинная вода + каолин	97	-	-	

Наиболее эффективным, с точки зрения удельной производительности оказался коагулянт хлорное железо с дозой 12 мг/л и смешанный состав оксихлорида алюминия (2 мг/л) + катионного флокулянта (0,4 мг/л). Применение обратных гидравлических промывках при использовании данных реагентов позволило получить прирост производительности – 10 – 30 %. Применение других видов коагулянтов позволило получить прирост производительности не более 10%.

Высказано предположение, что лучшие показатели прироста производительности связаны с образованием более рыхлых и крупных флокулов, которые легче поддаются смыву с поверхности мембраны при проведении обратных гидравлических промывках, а также имеющие одноименный с поверхностью мембраны заряд, что снижает адгезионный эффект.

Важным показателем с точки зрения требований к воде, поступающей на системы обратного осмоса, является индекс плотности осадка SDI_{15} . Степень очистки по данному показателю представлена в таблице 4.

Таблица 4. Показатель SDI_{15} фильтрата в зависимости от состава исходной воды.

Тип исходной воды	SDI_{15} фильтрата	
	Без коагуляции	С коагуляцией
Морская вода	>5	<5
Сточная вода	>5	<5
Поверхностный источник	>5	<5
Скважинная вода	-	-
Скважинная вода + каолин	>5	<5

SDI_{15} фильтрата при применении коагулянтов имеет значение < 5, без коагуляции > 5. что удовлетворяет требованиям к воде, поступающей на системы обратного осмоса.

Глава 4. Разработка математической модели. На основе полученных экспериментально эмпирических зависимостей в данной главе приведено описание разработанной математической модели и сравнение расчетных и экспериментальных данных микрофильтрационных элементов исходными параметрами, для которой являются: диаметр поры, пористость, давление концентрата, расход концентрата (таблица 5).

Определены погрешности расчетных данных в математической модели в сравнении с данными полученные эмпирическим путем для микрофильтрационных элементов с различными исходными данными.

1 – ая группа элементов – трансмембранный перепад давления(ΔP) – 0,9 – 1 бар, соотношение потоков фильтрата Q_f . и исходной воды Q_o – 0,45 – 0,55.

2 – ая группа элементов – трансмембранный перепад давления(ΔP) - 0,6 - 0,7 бар, соотношение потока фильтрата Q_f . и исходной воды Q_o - 0,35 - 0,4.

Таблица 5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.

№ элемента	Параметры расчета							
	Q ф., м ³ /ч		P ₀ , бар		Q ф./ΔP, м ³ / (бар·ч)		ΔP, бар	
	расчет	Эксп.	расчет	Эксп.	расчет	Эксп.	расчет	Эксп.
Первая группа расчета (ΔP=0,9-1 бар, Qф/Q ₀ =0,45-0,55)								
1	17,55	18,14	1,46	1,44	18,69	19,51	0,939	0,93
2	16,85	16,95	1,39	1,41	19,28	19,15	0,874	0,885
3	20,41	19,85	1,46	1,43	21,90	21,69	0,932	0,915
Вторая группа расчета (ΔP=0,6-7 бар, Qф/Q ₀ =0,35-0,4)								
1	12,75	14,75	0,97	1,1	20,40	21,38	0,625	0,690
2	12,30	14,67	0,90	1,1	22,16	22,40	0,555	0,655
3	14,31	15,61	1,01	1,1	21,68	22,14	0,660	0,705

Для первой группы элементов – относительное расхождение значений для удельной производительности не превышает 5 %, по давлению исходной воды менее 3 %. Для второй группы элементов – относительное расхождение значений по давлению подачи исходной воды составило - 8 - 18 %, удельной производительности не более 10 %. На рисунке 4 представлено сравнение расчетных и экспериментальных значений производительности фильтроэлемента.

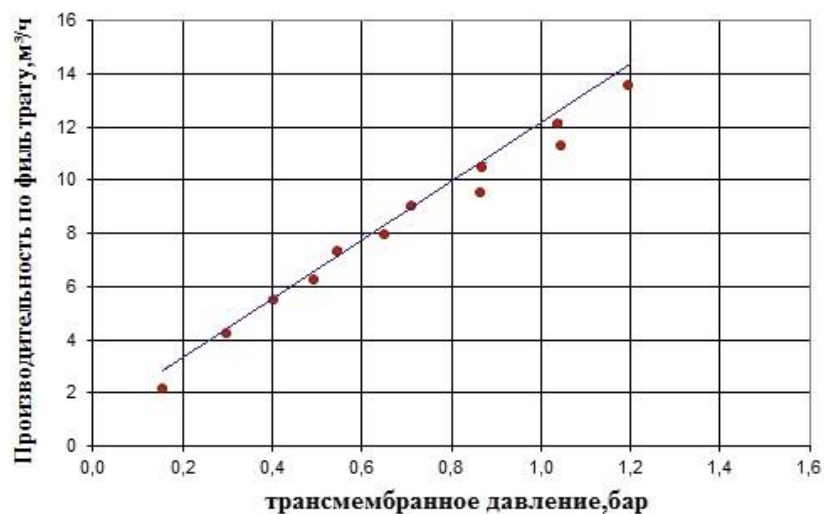


Рис.4.Изменение производительности фильтроэлемента в зависимости от перепада давления; кривая - расчетные значения, точки - результаты эксперимента.

Определено, что в диапазоне диаметра поры 0,2 - 0,28 мкм микропористой мембраны в составе микрофльтрационного элемента расхождение расчета в сравнении с данными, полученных эмпирическим путем не превышает 5 %.

Глава 5. Практическое применение. Разработаны рекомендации по наиболее эффективным параметрам работы микрофльтрационных элементов, технологическим приемам и методам, использованные в ходе проектирования различных систем очистки воды промышленного назначения (таблица 6). Приведены результаты практического применения микрофльтрационных элементов на основе микропористой мембраны в составе систем водоподготовки на промышленных предприятиях.

Таблица 6. Технологические приемы и методы, повышающие эффективность работы микрофльтрационных элементов.

Технологические приемы	Примечания	Показатель
Коагуляция	1.Хлорное железо (12 мг/л) 2.Оксид алюминия (2 мг/л) + катионный флокулянт (0,4 мг/л) Время контакта- 2 – 5 минуты	-Селективность очистки (мутность, цветность,SDI ₁₅) -Повышение удельной производительности
Ультразвуковая обработка	При проведении гидравлической промывки. Время обработки- 45 секунд	Повышение удельной производительности
Подбор дренажных и турбулизирующих сеток	Двойная дренажная сетка и одинарная турбулизирующая	Повышение удельной производительности
Подбор диаметра поры мембраны	Диаметр поры – 0,2 мкм	Обеспечение селективности очистки

Одним из примеров практического применения данных, полученных в ходе экспериментальных исследований данной работы, является, работающая в настоящее время установка очистки морской воды в порту г. Сингапур.

Общий вид установки представлен на рисунке 5, показатели работы (удельная производительность, селективность очистки, время работы) на рисунке 6.



Рис.5.Общий вид установки

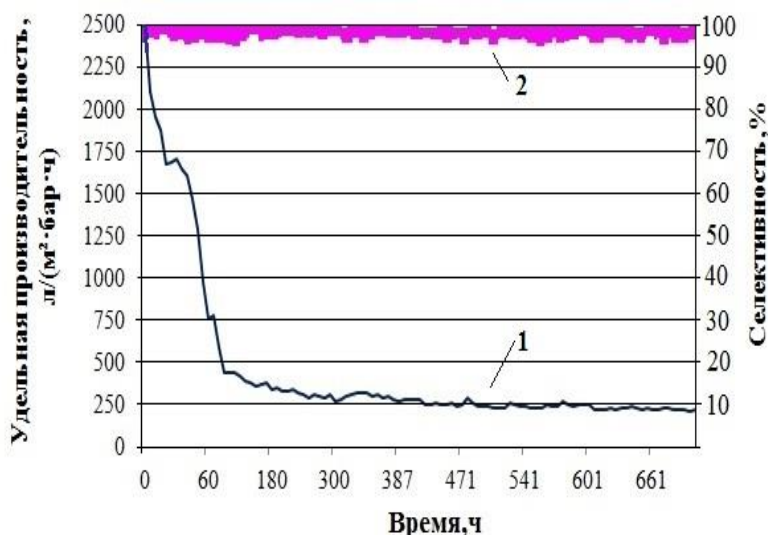


Рис.6.Показатели работы установки:

1-удельная производительность (л/(м²·бар·час));

2-селективность очистки от взвешенных веществ, %.

Из графика, представленного на рисунке 6, определено, что удельная производительность на стабильном участке работы микрофльтрационного элемента на основе микропористой трековой мембраны составляет 250 л/(м²·бар·час), а селективность очистки от взвешенных веществ 95 – 97 % на всем промежутке времени работы, что является стабильными и высокими показателями работы. Данные показатели сопоставимы с данными мировых аналогов, а по отдельным показателям превышают их.

Заключение

1. Усовершенствована конструкция микрофльтрационного элемента рулонного типа на основе нового класса микропористых трековых мембран с высокой удельной производительностью, позволяющая применять механизм обратных промывок, воздействие ультразвуковых волн в процессе работы для повышения показателей работы в сравнении с существующими мировыми аналогами.

2. Получены новые данные по влиянию воздействия различных технологических растворов на прочностные показатели микропористых мембран.

3. Оптимизированы технологические параметры работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран.

4. По сравнению с существующими аналогами улучшены показатели работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран по следующим показателям: селективность по цветности (97 – 98 %), мутность фильтрата по показателю цветность – 2°, удельная производительность промышленных систем – 250 л/(м²·бар·час). Селективность по мутности составляет – 95 – 99 %, индекс плотности осадка $SDI_{15} < 5$, что удовлетворяет требованиям к показателям воды для подачи на системы обратного осмоса. Например, аналог применяемый, для очистки воды - модуль Dizzer 5000 SB plus фирмы Kaufmann technology имеет следующие показатели: удельная производительность - 60 - 140 л/(м²·бар·ч), селективность очистки от цветности 20 - 60 %.

5. Доказано, что применение ультразвукового воздействия в процессе работы увеличивает показатель удельной производительности микрофльтрационного элемента на основе микропористых мембран не менее чем на 30%, и может быть использовано в качестве альтернативы регенерации мембран химическими методами.

6. Разработана математическая расчетная модель, позволяющая определять гидравлические характеристики микрофльтрационных элементов. Результаты расчетов по разработанной модели и экспериментальные данные отличаются не более чем на 18 %.

7. Даны рекомендации по параметрам, технологическим приемам и методикам работы микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран, для использования при создании микрофльтрационных систем промышленного назначения.

Публикации по теме диссертации:

Статьи:

1. Десятов А.В., **Ландырев А.М.**, Колесников А.В. Методы повышения удельной производительности микрофльтрационных элементов на основе микропористых мембран при очистке сточных вод // ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ. 2016. №7. С. 23-29.

2. Десятов А.В., **Ландырев А.М.**, Кручинина Н.Е. Высокопроизводительные микропористые мембраны в технологиях опреснения морской воды // ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. 2016. Т. 59. № 7. С. 75-79.

3. Десятов А.В., Колесников В.А., Кручинина Н.Е., **Ландырев А.М.**, Колесников А.В. Двухступенчатая схема удаления соединений бора при опреснении морской воды методом обратного осмоса // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49. № 4. С. 389-393.

4. Десятов А.В., Колесников А.В., Графов Д.Ю., **Ландырев А.М.**, Якушин Р.В., Кутербеков К.А., Нурахметов Т.Н. Исследования возможности обеззараживания воды воздействием холодной плазмы при кавитации в высокоскоростных потоках воды // ВОДА: ХИМИЯ и ЭКОЛОГИЯ. 2015. №9. С. 76-80.

5. Баранов А.Е., Казанцева Н.Н., **Ландырев А.М.**, Филатов Н.И., Федотов Б.Т. Интенсификация мембранного процесса очистки воды высокочастотными полями // Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. 2010. №12(36). С.34-39.

Конференции:

1. Десятов А.В., Графов Д.Ю., **Ландырев А.М.**, Прохоров И.А. Способы регенерации рулонных фильтрующих элементов на основе трековых мембран работающих в составе микрофльтрационного модуля очистки воды // XII Всероссийская научная конференция с международным участием “Мембраны 2013”, Владимир, 2013.

2. Десятов А.В., Кручинина Н.Е., **Ландырев А.М.** Повышение эффективности работы микропористой мембраны с цилиндрической порой при очистке воды различного качества // Всероссийская научная конференция с международным участием “Мембраны 2016”, Нижний Новгород, 2016.