

УДК 628.3

А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения

А.В. Бусарев – кандидат технических наук, доцент

А.С. Селюгин – кандидат технических наук, доцент

Л.Р. Хисамеева – доцент

Тел.: (843) 238-25-53, e-mail: a566pm@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено современное состояние и перспективы применения нанотехнологий в системах водоснабжения и водоотведения; приведены примеры применения нанотехнологий при очистке поверхностных и подземных природных вод, опреснении морской воды, очистке сточных вод. Приведены результаты исследования кафедры водоснабжения и водоотведения по применению ультрафильтрационных установок для экологически чистой воды и глубокой очистке нефте- и фенолсодержащих вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии, водоснабжение, водоотведение, природные и сточные воды, способ, установка, очистка.

A.B. Adelshin – doctor of technical sciences, professor, head of Water Supply and Water-Drainage department

A.V. Busapev – candidate of technical sciences, associate professor

A.S. Selyugin – candidate of technical sciences, associate professor

L.R. Hisameeva – associate professor

Tel.: (843) 238-25-53, e-mail: a566pm@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE PROBLEM OF NANOTECHNOLOGY USAGE IN WATER SUPPLY AND WATER SEWAGE SYSTEMS

ABSTRACT

Modern state and perspectives of nanotechnology usage in water supply and water sewage systems are considered. Examples of nanotechnology wade in purifying of surface and underground natural water, freshening of sea salt water, purifying of sewage department investigation are presented in ultra – filter devices for obtaining ecologically pure water and deep purifying oil and phenol containing water.

KEYWORDS: nanotechnology, water supply, water sewage, natural and waste water, device, purifying.

В связи с ростом антропогенного воздействия на окружающую среду и увеличением в мире дефицита питьевой воды все более актуальными становятся вопросы очистки природных и сточных вод.

Одним из направлений совершенствования систем водоснабжения и водоотведения является применение нанотехнологий. Нанотехнологии – это процессы, материалы и аппараты, имеющие дело с частицами, размеры которых находятся в пределах от 10 до 100 нм (10^{-8} – 10^{-7} м) [1].

Сегодня в мире нанотехнологиям уделяется все большее внимание. Мировой рынок нанотехнологий к 2015 году достигнет объемов в один триллион долларов США. Российский сектор нанотехнологий в этот же период составит более 3 % от этого объема [1].

В Республике Татарстан в 2008 году научно-исследовательскими учреждениями были предложены 24 проекта на основе нанотехнологий для приоритетных отраслей промышленности Татарстана. В 2009 году количество таких проектов возросло до 81. По 45 из них ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а по 36 проектам при взаимодействии с Госкорпорацией «Роснанотех» в различных отраслях экономики созданы промышленные технологии, на реализацию которых планируется привлечь 26,8 миллиардов рублей. К 2015 году должны быть реализованы 130 проектов в области нанотехнологий с предварительным объемом финансирования по РФ 142 миллиарда рублей [2].

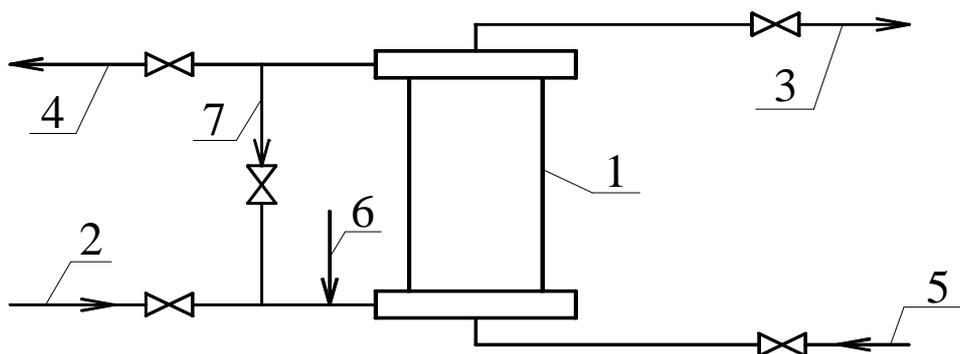


Рис. 1. Модульная нанофильтрационная установка

1 – модуль нанофильтрации; 2 – подача исходной воды; 3 – отвод очищенной воды; 4 – отвод концентрата; 5 – подача воды на промывку; 6 – подача воздуха; 7 – трубопровод рециркуляции

В настоящее время одним из крупнейших проектов, реализуемых в этой области в Республике Татарстан, является освоение добычи и глубокой переработки тяжелых нефтей и природных битумов на основе нанотехнологий. Этот высокотехнологический проект, выполняемый под руководством ОАО «Татнефть», оценивается более чем в 1 миллиард рублей [1].

К области нанотехнологий следует отнести и мембранную очистку воды. Мембранное разделение осуществляется либо под давлением, либо под воздействием электрического тока (электродиализ). Мембранное разделение под давлением по размеру пор мембран, а, следовательно, и размеру задерживаемых частиц подразделяется на [3]: а) микрофильтрацию (размер пор 10^{-8} – 10^{-6} м); б) ультрафильтрацию (10^{-9} – 10^{-8} м); в) нанофильтрацию (10^{-10} – 10^{-9} м); г) обратный осмос (менее 10^{-10} м).

При помощи микрофильтрации из воды удаляются взвешенные вещества, коллоиды, некоторые виды микроорганизмов и металлы, фосфор, а также снижается ее жесткость; при помощи ультрафильтрации в воде снижается концентрация взвешенных веществ, коллоидов и некоторых органических загрязнений, удаляются бактерии и некоторые виды вирусов, снижается жесткость воды [4]. Нанофильтрация удаляет из воды соли жесткости, пестициды, двухвалентные анионы, снижает ее жесткость. С помощью обратного осмоса из воды удаляется большинство солей, нитраты, нитриты, аммиак, фосфор, фториды, а также радиоактивные вещества [3, 4].

История разделительных мембран начинается в 70-х годах прошлого века, когда были созданы обратноосмотические мембраны для подготовки питьевой воды. Стремление к созданию разделительных мембран с более высокой проницаемостью и меньшим удержанием растворимых веществ привело к созданию во второй половине 80-х годов микро-, ультра- и нанофильтрации, которые использовались главным образом для умягчения питьевой воды [5].

Разделительные мембраны изготавливаются, как правило, из синтетических материалов, известны и керамические мембраны, обычно используемые при микрофильтрации. Разделительные мембраны состоят из поддерживающего и фильтрующего слоя. Поддерживающий слой изготавливается из полифосфатов, а фильтрующий – из полиамидов или аналогичных по свойствам материалов [3].

Мембраны изготавливаются в виде плоских листов или полых цилиндров. Затем они собираются в модули определенного размера, которые приспособлены к работе под давлением. Модули могут соединяться последовательно и параллельно. Таким образом, оборудование для мембранного разделения является высокомодульным и поставляется в виде готовых установок [3].

На рисунке 1 представлена технологическая схема нанофильтрационной установки, предназначенной для очистки хозяйственно-бытовых стоков [5]. В данной установке применены мембраны капиллярной нанофильтрации типа 2x4¹¹ NF 50M10, производимые компанией X-Flow Company (Нидерланды) [5].

Задержание разделительными мембранами загрязнений происходит по следующим причинам [6]: а) размер частиц превышает размер пор мембран; б) осуществляется адсорбция частиц поверхностью мембран; в) происходит блокирование частиц внутри пор. Первый механизм задержания частиц загрязнений является основным. Принципиальное различие процессов фильтрования и мембранного разделения заключается в том, что при фильтровании извлекаемые из воды частицы остаются либо на поверхности, либо в объеме фильтрующей загрузки, которая периодически регенерируется. При мембранном разделении образуются два раствора: фильтрат или пермеат (очищенная вода) и концентрат (раствор, обогащенный удаляемыми веществами) [3, 4, 6]. Эффективность мембранного разделения в



значительной степени зависит от проницаемости и селективности мембран [6].

Оборудование для электродиализа состоит из пакета катионных и анионных мембран. Очищенная вода и рассол собираются в соответствующих камерах, образуемых стенками мембран. Порядок этих камер определяется зарядом электродов.

Существуют электролизеры реверсивного типа. Меняя полярность, можно попеременно использовать камеры, как для сбора очищенной воды, так и для сбора рассола, что увеличивает срок службы мембран. При этом крупные и нейтральные частицы электролизерами из воды не удаляются [3].

К недостаткам мембранного разделения следует отнести [3, 5, 6]: а) необходимость утилизации концентрата; б) сложность эксплуатации мембранных разделителей (консервация неработающих мембран, их хранение и, главным образом, их регенерация; в) чувствительность мембран к загрязнениям, что обуславливает необходимость предварительной очистки воды; г) относительно небольшой срок службы (для микро- и ультрафильтрационных мембран $1 \div 8$ лет, а для обратноосмотических $3 \div 5$ лет); д) сравнительно высокая вероятность выхода мембран из строя. Тем не менее, мембранное разделение нашло широкое применение в системах водоснабжения и водоотведения.

Так автор работы [7] считает возможным применение ультрафильтрации и обратного осмоса при обезжелезивании, деманганации и обесфторивании подземных вод с целью их использования для целей водоснабжения населенных пунктов различных районов РФ. Данные методы позволяют снизить концентрацию железа в воде с 7 мг/л, марганца – с 7 мг/л, а фтора – с 10 мг/л до требований СанПиН 2.1.4.1074-01.

ООО «Космо-Дизайн интернэшл» (г. Москва) разработало способ многоступенчатой очистки воды из любых пресноводных источников [8]. Вначале очищаемую воду фильтруют через многослойную сетку из нержавеющей стали с размером ячеек 50-80 мкм; затем воду подают на патронный микрофильтр на основе пористого полипропилена с размером пор 10-20 мкм, сорбцию и финишную микрофильтрацию. В обрабатываемую воду перед микрофильтрацией и сорбцией периодически дозируют раствор, содержащий диамминаргенат – ионы $[Ag(NH_3)_2]^+$ в количестве, соответствующем концентрации серебра в воде 0,005-0,01 мг/л. После финишной микрофильтрации воду подвергают обработке УФ-излучением. Данный способ позволяет снизить содержание в воде фенола с 5 до 0,7 мкг/л, свободного хлора с 1,9 до 0,05 мг/л, железа общего с 8,24 до 0,15 мг/л, нитратов со 100 до 15 мг/л, общего хрома с 1,45 до 0,02 мг/л; снизить мутность воды с 22 до 0,2 ЕМ/л, цветность со 110 до 16 град, перманганатную окисляемость с 2,9 до 1 мг O_2 /л.

В процессе мембранной обработки воды одновременно с удалением вышеперечисленных загрязнений будет происходить ее опреснение, снижение щелочности и окисляемости. Кроме того, методы мембранного разделения позволяют удалить из воды сероводород и свободную углекислоту [7].

В Республике Татарстан, в г. Альметьевске, мембранные разделители были использованы для доочистки водопроводной воды, которая в процессе длительного транспортирования (Белоусовский водозабор расположен на р. Кама в 120 км от г. Альметьевска) подвергается вторичному загрязнению.

Мембранное разделение применяется и при подготовке технической воды. Ультрафильтрационные установки используются для получения сверхчистой воды, применяемой в электронной промышленности.

Для опреснения морской воды на судах, кораблях, подводных обитаемых плавсредствах и подводных лодках широко применяются обратноосмотические установки [9, 10]. На рисунке 2 приведена схема установки для опреснения морской воды, разработанной ЦНИИ судового машиностроения [9].

Фильтрующие патроны выполнены разновеликими по диаметру и разнопористыми, причем в полости патрона большего диаметра и с более крупными порами размещено не менее трех патронов меньшего диаметра с мелкими порами. Фильтрующие патроны выполнены с возможностью упругой деформации в радиальном направлении под действием импульсного давления морской воды [9].

Мембранное разделение используется также для очистки хозяйственно-бытовых стоков. В работе [5] предлагается применять для этих целей нанофильтрационную установку (рис. 3). Исследованиями установлено, что при очистке хозяйственно-бытовых стоков продолжительность фильтроцикла не должна превышать 15 мин. При этом продолжительность межрегенерационного цикла составляет 8 ч, а нагрузка на мембраны – 20 л/м² ч [5].

В 1997 г. в г. Милтон (Канада) был введен в действие первый в мире мембранный биореактор (МБР) [11]. В аппаратах этого типа объединяются биологическая очистка с ультра или микрофильтрацией.

Использование разделительных мембран с биотехнологическими методами обеспечивает полное удержание в биореакторах бактерий, вирусов и других микроорганизмов; создает условия для многократного увеличения концентрации активной биомассы; позволяет осуществить эффективное отделение этой биомассы от сточной воды, а также дезинфекцию стоков, что исключает последующие ступени их отстаивания и обеззараживания.

Технология МБР способна коренным образом улучшить эффективность удаления из хозяйственно-бытовых стоков биорезистентных, токсичных и канцерогенных веществ, т.е. она обеспечивает высокое качество очищенной воды [11].

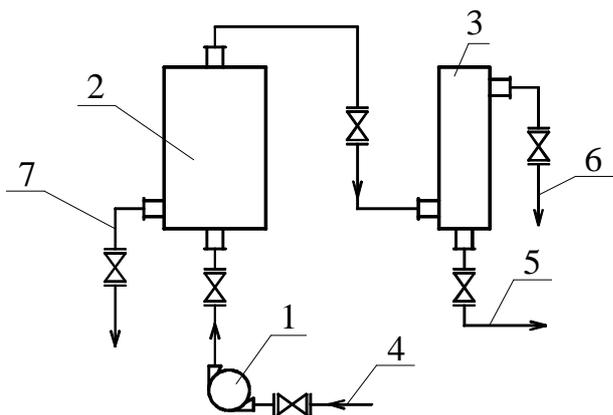


Рис. 2. Обратносмотическая опреснительная установка
1 – плунжерный насос высокого давления; 2 – фильтр предочистки; 3 – обратносмотический опреснительный модуль; 4 – подача морской воды; 5 – выход пермеата; 6 – выход рассола; 7 – сброс при промывке

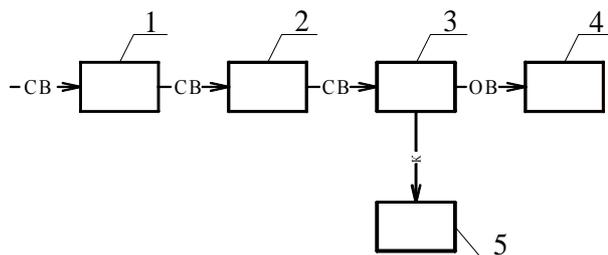


Рис. 3. Блок-схема нанофильтрационной установки для очистки хозяйственно-бытовых стоков
1 – сетка; 2 – буферная емкость; 3 – нанофильтрационная установка; 4 – емкость для очищенной воды; 5 – биореактор; СВ – сточная вода; ОВ – очищенная вода; К – концентрат

В настоящее время в мире работают более 2000 установок типа МБР: в Италии (Syndial) производительностью 46930 м³/сут; в Германии (Nordkanal) производительностью 45040 м³/сут; в США (Templ, Kyrene, Trocverse Sity, Bonita Springs, Marco Island, Redlands и др.) производительностью от 14000 до 38000 м³/сут. В Казахстане принято решение о внедрении МБР на канализационных очистных сооружениях г. Астаны [11]. В Китае ведутся исследования по совершенствованию установок типа МБР, применяемых для очистки хозяйственно-бытовых стоков [12].

Фирмой «Дегремон» (Франция) разработан способ обработки сточных вод мембранным биореактором [13], реализованный в установке для очистки сточных вод (рис. 4).

Сточные воды (городские или промышленные) очищаются в секции 1 с МБР. Обезвоживание избыточных осадков из МБР производится на установке 4 с добавлением полиэлектrolита для кондиционирования осадков. Обезвоженный осадок из установки 4 удаляется по линии 8, а отделенная от осадка вода, содержащая полиэлектrolит, по линии 9 подается в контактор 2, в который по линии 12 поступает осадок из МБР. Остаточный полиэлектrolит переходит в осадок. Затем кондиционированный осадок фильтруется через мембраны 3. Отделенная от осадка вода по линии 11 возвращается на очистку в секцию 1, а осадок, содержащий полиэлектrolит, по линии 12 подается на обезвоживание в установку 4. Фильтрация осадка мембранами 3 позволяет предотвратить забивания мембран в секции 1.

СФЦ «Умвельттехник ГМБХ» разработан мембранный биореактор для отделения частиц от жидкости посредством полых волоконных мембран, которые объединены в пучок волокон, выполненных с

возможностью протекания жидкости снаружи внутрь и из которых отфильтрованную жидкость удаляют из одного из концов и в котором имеется газоподводящее устройство для обтекания газом (сжатым воздухом) наружной поверхности полых волоконных мембран. Фильтрующий модуль содержит несколько фильтрующих устройств, расположенных вертикально рядом друг с другом стороной газопровода вниз [14].

Установки типа МБР применяются и для очистки производственных сточных вод. Так, в ЗАО «Новокуйбышевская нефтехимическая компания» (г. Новокуйбышевск) проводились исследования по очистке стоков нефтеперерабатывающего завода с использованием данных установок [10]. Установлено, что концентрация нефтепродуктов в сточной воде в установке типа МБР снижается с 21 мг/л до 0,5-1,2 мг/л, концентрация взвешенных веществ с 25-30 мг/л до 0,5-1 мг/л, а азота аммонийного – с 5-6 мг/л до 0,5-1 мг/л. ХПК сточной воды в МБР снижается со 180 мг/л до 50-70 мг/л, а БПК₅ – с 30-40 мг/л до 0,5-1 мг/л.

Мембранные аппараты применяются для очистки сточных вод коксохимического производства, загрязненных соединениями азота, цианидами и сульфидами [16]; для очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества и неорганические соли с получением концентрированного раствора неорганических солей и утилизацией полученных продуктов [17].

Для очистки жиросодержащих сточных вод маргаринового и майонезного производств разработана технология [18], в соответствии с которой сточные воды вначале подвергаются трехступенчатой очистке. На первой ступени происходит разделение стоков на три слоя флотацией с подачей среднего заэмульгированного жировыми веществами слоя на вторую ступень, где происходит разделение на два слоя,

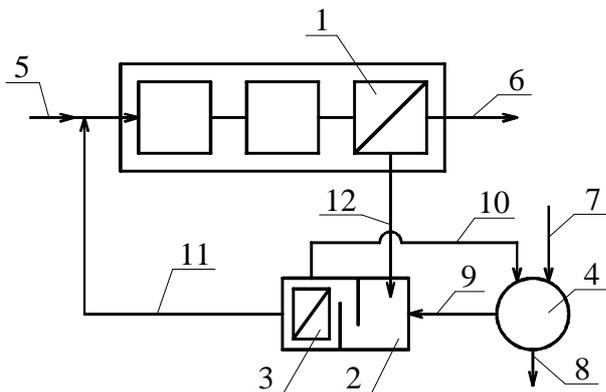


Рис. 4. Схема установки очистки воды с МБР
 1 – секция обработки сточной воды с МБР; 2 – контактор (смеситель); 3 – мембрана для осадка; 4 – установка для обезвоживания осадков; 5 – подача сточной воды; 6 – отвод очищенной воды; 7 – подача полиэлектrolита; 8 – отвод обезвоженного осадка; 9 – отделенная вода; 10 – осадок из мембраны; 11 – фильтрат мембран; 12 – осадок из МБР

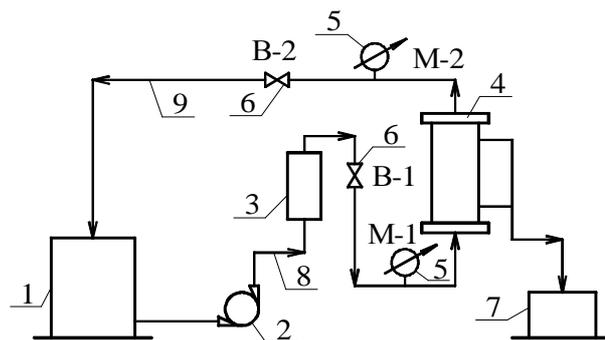


Рис. 5. Ультрафильтрационная установка УФВ-6,0
 1 – емкость для исходной воды; 2 – перистальтический насос; 3 – фильтр предварительной очистки; 4 – разделительный аппарат типа АР – 2,0М; 5 – манометр; 6 – вентиль; 7 – емкость для фильтрата; 8 – трубопровод подачи воды на очистку; 9 – циркуляционный трубопровод; 10 – трубопровод отвода очищенной воды

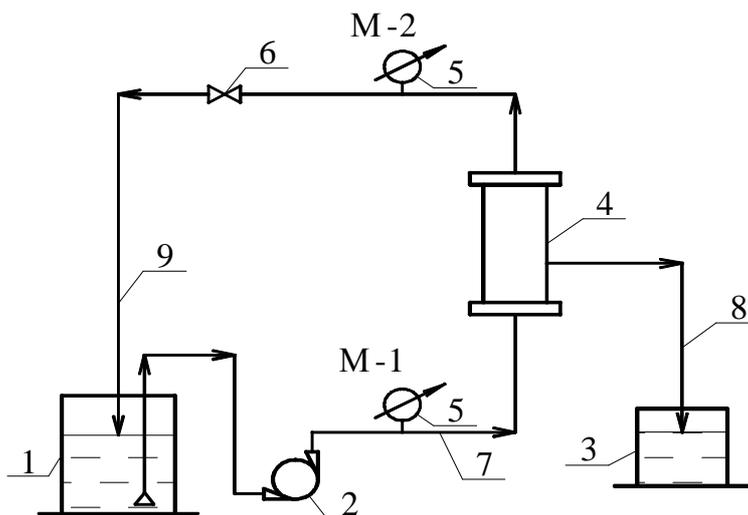


Рис. 6. Ультрафильтрационная установка УФЛ-0,6
 1 – емкость для исходной воды; 2 – перистальтический насос; 3 – емкость для фильтрата; 4 – разделительный аппарат типа АР – 2,0Н; 5 – манометр; 6 – вентиль; 7 – трубопровод подачи воды на очистку; 8 – трубопровод отвода очищенной воды; 9 – циркуляционный трубопровод

из которых верхний, содержащий жировые вещества, направляют в производство, а нижний заэмульгированный жировыми веществами слой подается на третью ступень, из которой затем вода поступает на ультрафильтрацию, где происходит разделение на два потока. Первый, представляющий концентрат жировых веществ, возвращают в первую ступень флотации, а пермеат возвращают в производство. Данная многоступенчатая технология позволяет снизить содержание в воде жиров с 17000 мг/л до 20 мг/л (маргариновое производство) и с 15000 мг/л до 10 мг/л (майонезное производство).

Для разделения, концентрирования и опреснения различных растворов пищевой, фармацевтической,

микробиологической промышленности и на предприятиях агропромышленного комплекса разработаны трубчатый мембранный модуль в виде двух коаксиально расположенных цилиндров с полупроницаемой мембраной [19] и мембранный аппарат, в линию подачи раствора которого включено вибрирующее устройство, вносящее в разделенный поток пульсации расхода и давления максимальной допустимой амплитуды и резонансной частоты, что позволяет повысить удельную производительность мембранных аппаратов [20].

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) на кафедре водоснабжения и водоотведения при участии



Казанского государственного медицинского университета (КГМУ) разработана концепция экологически чистой воды и разработана техническая документация на установку для ее получения. Одним из аппаратов, входящих в состав установки, является ультрафильтрационная установка типа УПВ-6,0 (рис. 5) с разделительным устройством на полах волоконх АР-2,0М.

На ультрафильтрационной установке типа УПЛ-0,6 (рис. 6) проведены исследования по доочистке производственных сточных вод от нефтепродуктов и фенолов. При соблюдении специального регламента регенерации разделительных мембран концентрация нефтепродуктов в сточной воде на установке УПЛ-0,6 снижались с 1-2 мг/л до 0,5 мг/л, а фенолов с 2-3 мг/л до 0,5 мг/л.

В настоящее время установка УПВ-6,0 и УПЛ-0,6 используется в учебном процессе для проведения лабораторных работ студентами специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» [21, 22].

Все вышеизложенное свидетельствует об успешном применении в системах водоснабжения и водоотведения мембранного разделения, являющегося одной из разновидностей нанотехнологий, развитие которых имеет в будущем большие перспективы.

Литература

1. Дьяконов Г.С. Нано – основа технологий будущего // Top Builder, 2009, № 1. – С. 24.
2. Павлов Б.П. Нано, значит надо // Top Builder, 2009, № 1. – С. 20-23.
3. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Отдел по датскому сотрудничеству в области окружающей среды в Восточной Европе (ДАНСЕЕ); Министерство природных ресурсов Российской Федерации. – М., 2001. – 254 с.
4. Карттунен Э. Водоснабжение II. – СПб.: Новый журнал, 2005. – 688 с.
5. Сайед С. и др. Определение оптимального режима работы капиллярных нанофильтрационных элементов при очистке сточных вод // Вода и экология, 2008, № 3. – С. 33-47.
6. Калицун В.И. и др. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 2001. – 272 с.
7. Николадзе Г.И. К вопросу кондиционирования подземных вод // Известия жилищно-коммунальной академии: Городское хозяйство и экология, 1998, № 3. – С. 3.
8. Патент РФ № 2188165 от 27.08.02 г. Многоступенчатый способ глубокой очистки воды. Гутенеев В.В., Когенко А.В., Монвила О.И., Преображенский А.В., Черный А.П.
9. Патент РФ № 2186709 от 10.08.02 г. Обратноосмотическая опреснительная установка. Веселов Ю.С., Герасимов А.В., Завирухов В.Д., Сулов В.Ф.
10. Патент РФ № 2007109399. Бюл. № 26 от 20.09.08 г. Опреснительная установка обратного осмоса. Фомин В.Ф.
11. Нурканов Ж.Е. Перспективные мембранные технологии для очистки и повторного использования сточных вод при модернизации канализационных очистных сооружений // Водные ресурсы и водопользование, 2007, № 4 (39). – С. 2-3.
12. Кионг Янг и др. Контроль загрязнения погружных мембран в мембранных биореакторах с пористой плавающей загрузкой // Вода и экология, 2008, № 1. – С. 33-46.
13. Патент РФ № 2321552. Бюл. № 10 от 10.04.08 г. Способ обработки сточных вод мембранным биореактором. Ланглэ К., Кордые М.
14. Патент РФ № 2314864. Бюл. № 2 от 20.01.08 г. Фильтрующее устройство в виде полой волоконной мембраны и его применение при очистке сточных вод, а также мембранный биореактор. Демоулин Г.
15. Швецов В.Н. и др. Очистка нефтесодержащих сточных вод биомембранными методами // Водоснабжение и санитарная техника, 2008, № 3. – С. 11-13.
16. Патент РФ № 2004136167. Бюл. № 8 от 20.03.06 г. Способ очистки сточных вод коксохимического производства с помощью газонепроницаемой мембраны. Тилерт Х.
17. Патент РФ № 2004117684. Бюл. № 32 от 20.11.05 г. Способ очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества и неорганические соли. Корчалин В.И., Складиев Е.В., Бралишников Е.Б.
18. Патент РФ № 2184084 от 27.06.02 г. Российская Федерация, МПК⁷ С02F1/24. Способ очистки жиросодержащих сточных вод. Мачигин В.С., Лялин В.А.
19. Патент РФ № 2251446. Бюл. № 13 от 10.05.05 г. Мембранный аппарат для фильтрации вязких жидкостей. Кретов И.Т., Востриков С.В., Клочников А.И., Клочникова Д.В.
20. Патент РФ № 2228788 от 20.05.04 г. Способ ультрафильтрации и устройства для его реализации. Кудрявцев В.А., Яцун С.Ф., Кудрявцева Л.Е., Кувардина Е.М., Чеховский И.Р.
21. Методические указания к проведению лабораторных работ на установке «Ультрафильтрация воды» для студентов специальности 290800/Сост.: Адельшин А.Б. и др. – Казань: КазГАСА, 1999. – 10 с.
22. Очистка сточных вод методом ультрафильтрации. Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 270112/Сост.: Адельшин А.Б. и др. – Казань: КазГАСУ, 2009. – 12 с.