
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРО-УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*Н.А. Шиненкова¹, А.А. Поворов¹, Л.В. Ерохина¹, А.Ф. Наследникова², В.П. Дубяга²,
В.Г. Дзюбенко², И.И. Шишова², Н.И. Солодихин², Pia Lipp³, Marco Witte³*

¹ ЗАО «Мембраны» г. Владимир

² ЗАО НТЦ «Владипор» г. Владимир

³ «Technologiezentrum Wasser» (TZW) Karlsruhe.

Технология очистки воды из поверхностных источников на основе процессов ультра- и микрофильтрации с использованием капиллярных мембран в последнее десятилетие нашла в мире широкое практическое применение. Рассматривается возможность применения рулонных элементов на основе полимерных мембран для проведения процесса фильтрации в тупиковом режиме с периодической обратноточной промывкой фильтратом. Решение задачи было осуществлено в рамках совместного российско-германского проекта. Разработана технология процесса фильтрации, изготовлена пилотная установка, проведены длительные ресурсные испытания с использованием рулонных элементов из разных марок мембран в странах - участницах проекта. Доказана возможность применения для очистки вод поверхностных источников рулонных элементов с характеристиками, не уступающими капиллярным мембранам.

Ключевые слова: микро- ультрафильтрация, полимерные мембраны, очистка воды, тупиковая фильтрация.

Surface water process technology based on the process of Ultra-, Microfiltration using capillary membranes has been widely applied worldwide for the last decade. The possibility to apply roll elements on the basis of polymer membranes for the dead-end filtration process with periodical backwash by filtrate has been researched. The problem solution has been found within the framework of the joint Russian-German project. Filtration process technology has been developed, pilot plant has been produced, long term resource experiments using roll elements of various brands the countries – project participants have been executed. The possibility for surface water processing by roll elements with characteristics analogue to capillary membranes has been proved.

Key words: Micro- ultrafiltration, polymer membranes, water treatment, dead-end filtration.

На сегодняшний день обеспечение населения чистой и качественной питьевой водой стало действительно государственной проблемой. Сброс антропогенных веществ в водные объекты привел к тому, что ряд водоемов стал практически непригодным для осуществления питьевого водоснабжения. Положение усугубляется отсутствием на отечественных станциях водоподготовки современных технологий: озониро-

вания, сорбции на активных углях, мембранных процессов и т.д.

Мембраны и мембранная технология уже давно отнесены к приоритетным, устойчиво и динамично развивающимся направлениям науки и техники. Технология очистки воды из поверхностных источников на основе процессов ультра- и микрофильтрации нашла в мире широкое практическое применение в последнее десяти-

летие в связи с появлением на рынке высокопроизводительных элементов с капиллярными мембранами. Элементы характеризуются высокой плотностью «упаковки» мембран, благодаря чему достигается большая площадь фильтрации в одном аппарате. Удельная производительность капиллярных мембран составляет 80- 100 л/м²час. Ультрафильтрационные мембраны эффективно извлекают из воды тонкодисперсные и коллоидные примеси, высокомолекулярные органические соединения, водоросли, микроорганизмы, бактерии и вирусы. Вместе с тем, они практически не задерживают растворенные соли, что позволяет сохранить естественный состав природной воды. Наряду с высоким качеством очистки воды, разработчикам мембранного оборудования удалось достичь себестоимости очищаемой воды такой же, как и при традиционных технологиях водоподготовки (коагуляция, флотация, фильтрование на песчаных фильтрах). Потери воды при этом составляют примерно 5 – 7 %.

Разработка микро- ультрафильтрационных технологий для очистки природных вод на основе рулонных элементов с полимерными мембранами вызывает определенный интерес. При традиционной фильтрации в проточном режиме мембранные элементы имеют значительный ресурс работы, однако, тупиковая фильтрация делает процесс более привлекательным в силу его энергоэкономичности. Объединение достоинств обоих режимов привело к разработке конкурентоспособной технологии очистки природной воды микро-ультрафильтрацией с применением рулонных элементов.

Решение этой задачи было осуществлено в рамках совместного российско-германского проекта, заключенного в 1998 году между ЗАО «Мембраны» г. Владимир (Россия), ЗАО НТЦ «Владипор» и «Центром водных технологий» г. Карлсруэ (Германия).

Проведение двухсторонней работы по проекту предполагало несколько этапов. Первый этап – это разработка новых марок высокопроизводительных микро- ультрафильтрационных мембран, обладающих высокой селективностью и устойчивостью к извлекаемым веществам, и модификация существующих конструкций рулонных элементов.

Вторым этапом был выбор принципиальной технологической схемы очистки воды и определение оптимальных параметров процесса мембранной фильтрации в лабораторных условиях. Третий этап-проектирование и изготовление пилотной установки для очистки природных вод методом микро-ультрафильтрации. Четвертый этап предполагал длительные ресурсные испытания пилотной установки с рулонными мембранными элементами на реальных водных объектах. Каждая сторона должна была проводить испытания в своей стране с последующей оценкой и обменом полученными результатами. Все задуманные этапы этой работы были реализованы обеими сторонами в период с 1998 по 2005 год.

Для реализации этого проекта в ЗАО НТЦ «Владипор», г. Владимир были разработаны новые марки высокопроизводительных микро-ультрафильтрационных мембран. Материал селективного слоя разработанных мембран обладает низкими адсорбционными свойствами к органическим соединениям и другим загрязнениям природной воды и устойчив к свободному хлору.

Характеристика мембран, выбранных для испытаний, представлена в табл. 1.

Специалисты ЗАО НТЦ «Владипор» на основе выбранных мембран разработали новую конструкцию рулонных элементов с улучшенными гидравлическими характеристиками для сочетания процесса тупиковой фильтрации с периодической обратноточной промывкой. Особенности конструкции данных рулонных элементов заключаются в следующем: высота напорного канала в элементе увеличена до 1,5 мм; подобран турбулизатор специальной конфигурации, обеспечивающий как эффективную гидравлическую промывку мембраны исходной водой, так и обратноточную промывку ультрафильтратом; дренажная система элемента подобрана так, что имеет минимальное гидравлическое сопротивление и обеспечивает равномерный доступ фильтрата к поверхности мембраны в режиме обратноточной промывки. Для проведения ресурсных испытаний в рамках проекта была изготовлена опытная партия модифицированных рулонных элементов.

При выборе принципиальной технологической схемы стороны остановились на базовом

варианте, предполагающем чередование тупикового режима фильтрации с периодической обратноточной промывкой фильтратом, при этом потери воды на промывку должны быть не более 5%.

Разработка технологии по базовой схеме проводилась специалистами ЗАО «Мембраны», г. Владимир. Для реализации этого способа очистки воды была спроектирована и изготовлена лабораторная установка, на которой были отработаны все режимы. В ходе работ были определены оптимальные параметры проведения процесса фильтрации. Фильтроцикл в тупиковом режиме при давлении 0,5-1 кгс/см² составил 20 минут. Время обратноточной промывки фильтратом при давлении до 1,5 кгс/см² составило от 20 до 60 секунд. В ходе исследований также был интенсифицирован режим обратноточной промывки за счет введения сжатого воздуха в напорный канал мембранного элемента. Экспериментально определен ресурс работы мембран до момента проведения профилактической дезинфекции, он составил 20 часов непрерывной работы установки.

На лабораторной установке также проведены длительные ресурсные испытания по очистке воды реки Нерль. Результаты испытаний показали, что при соблюдении всех оптимальных параметров процесса производительность мембран, в зависимости от их типа, составила в среднем от 80 до 140 л/м²час. Химическая мойка мембран при этом проводилась через 1-1.5 месяца непрерывной работы установки в зависимости от сезона.

Все полученные данные были положены в основу разработки пилотной установки по очистке воды поверхностного источника производительностью 1м³/час. Проект конструкции разрабатываемой установки согласовывался совместно обеими сторонами.

«Центром водных технологий», г. Карлсруэ Германия была изготовлена пилотная установка с тремя мембранными модулями, поставку которых осуществили ЗАО «Мембраны» и ЗАО НТЦ «Владипор», г. Владимир. Пилотная установка смонтирована на двух подвижных платформах, благодаря которым обеспечивается ее мобильность.

Проведение ресурсных испытаний пилотной установки в рамках проекта было начато в

Германии в декабре 2001 года и проводилось немецкими специалистами до декабря 2003 года. Установка была размещена на одной из станций водоподготовки в Германии (Zwechverband Wasserversorgung Klein Rinziq) и работала на воде горного озера без предварительной ее подготовки. Забор воды осуществлялся с разных глубин водохранилища. В ходе экспериментов немецкие специалисты фиксировали все рабочие параметры: давление, производительность мембран, качество исходной и очищенной воды. Состав воды анализировался по следующим показателям: рН, температуры, цветности, мутности, содержанию общего органического углерода, общего микробного числа, определялась концентрация железа, марганца, алюминия. В процессе эксплуатации пилотной установки были сняты зависимости удельной производительности всех типов мембран от времени эксплуатации, температуры, сезонного колебания состава исходной воды.

Работа пилотной установки полностью подтвердила все технологические параметры процесса тупиковой фильтрации с обратноточной промывкой на мембранных рулонных элементах, которые были заложены на основе лабораторных испытаний, проведенных ЗАО «Мембраны». Степень очистки исходной воды по мутности составила не менее 96-98 %, в зависимости от типа мембраны. Анализ электропроводности исходной воды и ультрафильтрата позволил установить селективность мембран по растворенным веществам: для мембраны типа УАМ 100М -5%, для мембраны типа УПМ 100 - 15% и для мембран марки УПМ 50 -21%. Общее микробное число – менее 1 на 100 мл.

При применении только регулярной обратноточной промывки мембран фильтратом удерживать производительность мембранных элементов на постоянном уровне не удастся, поэтому через 4-6 недель возникает необходимость в химической мойке элементов. Химическая промывка мембран проводилась щелочным раствором с добавлением дезинфицирующего агента на основе активного хлора. Все ресурсные испытания рулонных элементов проводились без водо-воздушной промывки. При таком режиме эксплуатации пилотной установки удалось удерживать относительно стабильную проницаемость мембран на уровне 80 л/м² час (при 20°С

и рабочем давлении 1 атм.), такие же показатели были получены немецкими специалистами при испытании капиллярных мембран.

По завершении испытаний в Германии пилотная установка была перевезена в Россию. Для проведения ресурсных испытаний была выбрана станция водоподготовки Владимирского Водоканала, находящаяся в пос. Боголюбово и осуществляющая водозабор из реки Нерль. Ресурсные испытания проводились с августа 2004 года по октябрь 2005 года.

Мембранные элементы были изготовлены из тех же, ранее выбранных, марок мембран. Технологический режим фильтрации и промывки практически не был изменен, но был интенсифицирован режим обратноточной промывки за счет введения сжатого воздуха в напорный канал мембранного элемента. Для проведения водо-воздушной промывки конструкция установки была несколько модернизирована, на каждую линию концентрата после мембранного модуля дополнительно был установлен ресивер.

Технологические параметры следующие: тупиковый режим фильтрации воды в течение 20 мин при давлении 1,0 – 1,1 атм., обратноточная промывка фильтратом при давлении до 1,5 атм. в течение 1 минуты, расход фильтрата при обратноточной промывке – 20 л/мин, расход сжатого воздуха 80 л/мин. Режим работы установки полностью автоматизирован.

За качеством исходной и очищенной воды велся аналитический контроль по показателям: цветность и мутность, перманганатная окисляемость, концентрация железа, силикатов. Изменение этих показателей в исходной и очищенной воде в течение ресурсных испытаний дано на рис. 1-4.

Анализ исходной воды и фильтрата позволил установить среднюю селективность мембран по показателям: мутность 86 – 98 % и цветность 50 – 60 %, перманганатная окисляемость 35 – 45%, железо 80 – 95%, силикаты – 50%.

На рис. 5 представлена сравнительная динамика изменения удельной производительности мембраны типа УПМ 100 в процессе эксплуатации пилотной установки в режиме тупиковой фильтрации при обратноточной промывке фильтратом и при водо-воздушной промывке фильтратом. Как видно из графика, применение

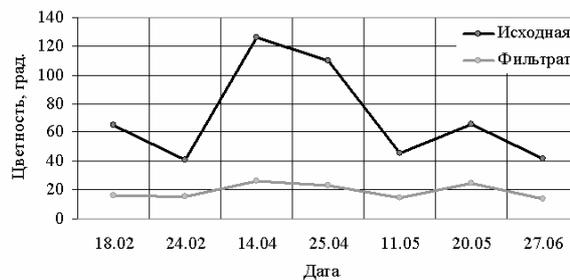


Рис. 1. Цветность исходной воды и фильтрата.

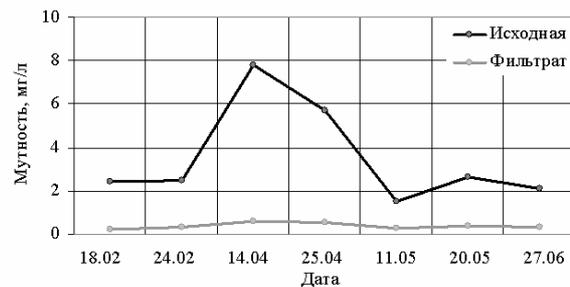


Рис. 2. Мутность исходной воды и фильтрата.

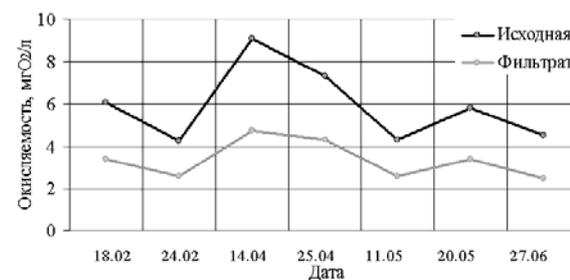


Рис. 3. Окисляемость исходной воды и фильтрата.

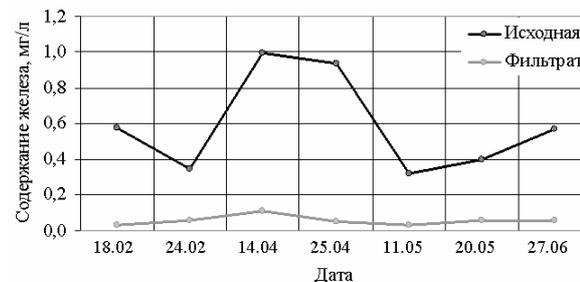


Рис. 4. Содержание железа в исходной воде и фильтрате.

водо-воздушной промывки позволяет значительно увеличить среднюю удельную производительность мембраны в режиме фильтрации и продлить фильтроцикл до момента проведения химической регенерации с одного месяца до двух и более, в зависимости от сезона.

Для химической регенерация мембранных элементов специально подбирался новый состав моющего раствора. Т.к. в исходной воде р. Нерль содержание силикатов до 15 мг/л и селективность мембран по ним достаточно высока, то

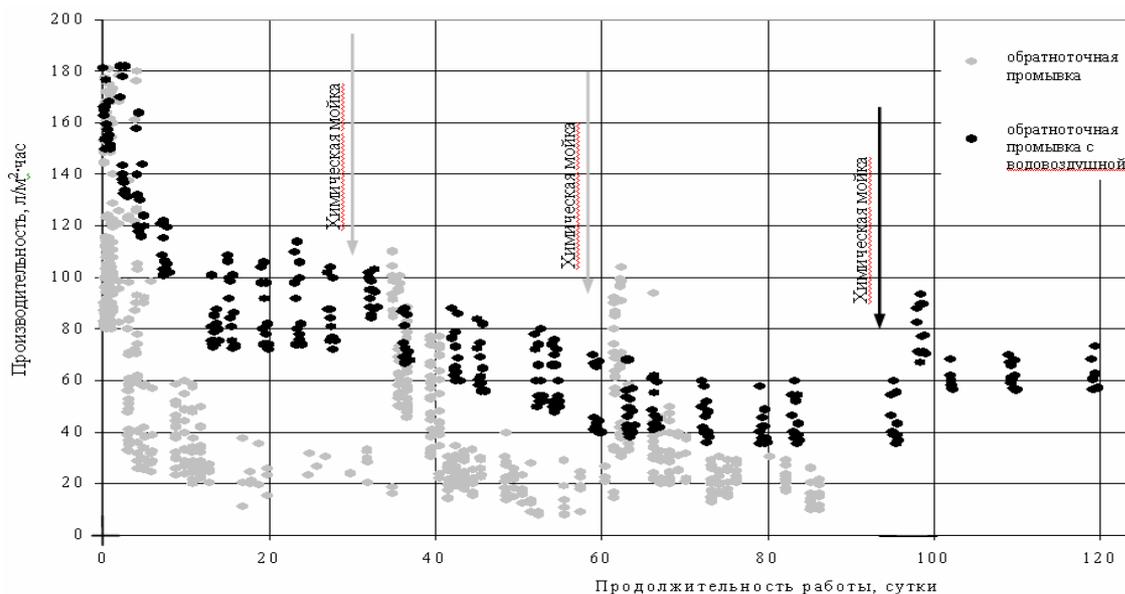


Рис. 5. Зависимость производительности мембраны УПМ-100 от продолжительности эксплуатации

в моющий раствор дополнительно были введены такие компоненты, как лимонная кислота и фторид аммония.

В ходе экспериментальных работ стороны – участники проекта постоянно обменивались полученными результатами и обсуждали их на совместных встречах в Германии и России.

Выводы

1. В результате долговременных полупромышленных испытаний пилотной установки для очистки поверхностной воды различных источников в режиме тупиковой фильтрации с периодической обратноточной промывкой подтверждена возможность организации этого процесса с использованием **рулонных** мембранных элементов на основе полимерных микро- ультра- фильтрационных мембран, причем удельная производительность мембран совпадает с ранее определенной производительностью для капиллярных мембран и составляет ориентировочно 80- 100л/м² *час для разного типа мембран.

2. Потери воды при разработанной технологии водоподготовки составляют примерно 5 – 7 % от общего количества фильтрата.

3. Периодичность проведения химической мойки и состав моющего раствора зависит от состава и концентрации загрязняющих веществ в исходной воде. Фильтроцикл до химической регенерации составляет от одного месяца, при проведении только обратноточной промывки

фильтратом, до двух и более месяцев при введении водо-воздушной промывки.

4. По результатам работы оформлен совместный отчет и техническое задание на проектирование опытно - промышленной установки производительностью 100 м³/час.

Литература

1. Герасимов Г.Н. Адаптация технологии обработки питьевой воды к новым условиям: применение ультрафильтрации.// Водоснабжение и сан. техника. – 2003. – № 6.
2. Ильин Б.И. Применение баромембранной технологии для очистки и подготовки природных и сточных вод.// Сантехника. – 2003. – №2.
3. Андрианов А.П., Первов А.Г. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод.// Критические технологии. Мембраны. – 2003. – №2 (18).
4. Андрианов А.П., Первов А.Г. Оптимизация процесса обработки воды методом ультрафильтрации.// Водоснабжение и сан. техника. – 2003. – №6.
5. Первов А.Г., Мотовилова Н.Б., Андрианов А.П. Ультрафильтрация-технология будущего.// Водоснабжение и сан. техника. – 2001. – №9.
6. Андрианов А.П. Водоснабжение промышленных объектов и населенных мест с помощью мембранных ультрафильтрационных установок.// СОК. – 2004. – №8.
7. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Изд-во стандартов, 2002.
8. ГОСТ 2876-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. М.: Изд-во стандартов, 1992.