

УДК 502/504:628.1

В. Г. ДЗЮБЕНКО, В. П. ДУБЯГА

ЗАО НТЦ «Владипор», город Владимир

А. Л. БИРЮКОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ ПОЛНОЦЕННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Одна из задач агропромышленного комплекса – неудовлетворительное состояние в обеспечении сельского населения физиологически полноценной и безопасной питьевой водой. Рынок услуг по получению питьевой воды высокого качества стремительно развивается. Мембранные технологии в этой сфере приобретают все более широкое распространение.

Питьевая вода высокого качества, очистка водных источников, промышленное производство мембран, очистное оборудование, обратный осмос, нанофильтрация, фильтрующий элемент.

One of the acutest problems in the present agricultural – industrial complex is the unsatisfactory situation of providing the rural population with physiologically valuable and safe drinking water. It is not possible to solve the problem without attracting modern technologies on cleaning water sources for man's consumption. The market of services on producing drinking water of high quality is impetuously developing. Membrane technologies in this sphere are getting more and more widespread.

Drinking water of high quality, water sources cleaning, membrane industrial production, treatment equipment, reverse osmosis, nanofiltering, filtering element.

На основании решения Правительства России по вопросу повышения эффективности и обеспечения комплексного использования водных ресурсов в Российской Федерации намечена разработка «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года», определяющей основные направления действий по совершенствованию системы управления в сфере использования водохозяйственного комплекса страны с учетом интересов различных категорий водопользователей, в том числе пользователей АПК.

Агропромышленный комплекс – крупнейший сектор национальной экономики России – производит около трети валового общественного продукта. В АПК сосредоточено 30 % работников, занятых в материальной сфере. Развитие АПК в значительной мере зависит от надежности обеспечения сельского населения водой необходимого количества и качества, орошения земель и т.д.

В России каждый второй житель пользуется питьевой водой, не соответствующей по ряду показателей гигиеническим требованиям, почти треть населения страны пользуется децентрализованными источниками водоснабжения без соответствующей водоподготовки. К настоящему времени установлена причинно-следственная связь ряда заболеваний и продолжительности жизни от качества питьевой воды в различных регионах России. В системах сельскохозяйственного водоснабжения менее 40 % сельского населения имеют вводы водопровода в дома. Локальные системы, используемые в основном для централизованного водоснабжения, имеют водозабор подземных вод, башни, резервуар чистой воды и водопроводные сети. Из 180 тыс. буровых скважин 45 % эксплуатируется более 20 лет и имеет износ, близкий к критическому, 55 % локальных водопроводов находится в

неудовлетворительном состоянии и нуждается в реконструкции. Методы обработки исходной воды весьма разнообразны: сорбция на активированном угле или сорбентах, химическая обработка воды, ультрафиолетовое воздействие, мембранные технологии, приобретающие все более широкое распространение. Методы, используемые в мембранных технологиях: микро-, ультра-, нанофильтрация и обратный осмос.

С помощью микрофильтрации удаляются взвешенные частицы и крупные коллоиды размером до 100 нм. Это позволяет делать гигиенические и паразитологические анализы, стерилизующую и обесцвечивающую фильтрацию, холодную стабилизацию вин, финишную очистку ликеро-водочной продукции, осуществлять подготовку воды перед нанофильтрацией и обратным осмосом, концентрирование целевых продуктов в биотехнологии.

Благодаря ультрафильтрации удаляются частицы, находящиеся в истинном растворе и имеющие размер до 0,01 мкм (10 нм). Как правило, это высокомолекулярные органические вещества или агрегаты молекул. Основные области применения – это водоподготовка, концентрирование и разделение белковых растворов, в частности в молочной промышленности.

Удалить же из воды растворенные соли возможно с помощью нанофильтрации и обратного осмоса. Однако использование обратного осмоса для очистки водных сред с содержанием до 3 г/л приводит к полному обескальванию, после чего воду невозможно использовать в качестве питьевой без искусственной минерализации. Часто и совершенно незаслуженно нанофильтрацию недостаточно информированные технологи воспринимают как «плохой» обратный осмос, хотя именно этот процесс в большинстве случаев пригоден для получения полноценной высококачественной питьевой воды со значительно меньшими по сравнению с обратным осмосом капитальными и эксплуата-

ционными затратами. Сегодня единственной технологией, способной гарантировать высокое качество питьевой воды, является мембранная, а именно нанофильтрация, уменьшающая жесткость, снижающая содержание растворенных галогенсодержащих соединений, железа.

Современные нанофильтрационные мембраны обладают широкими возможностями – в зависимости от заданных характеристик мембран можно получать воду определенного качества (со сниженной жесткостью, с сульфатами, с органическими веществами и т.д.). Несомненным преимуществом нанофильтрационных мембран при их использовании для улучшения качества водопроводной воды является не только изменение ионного состава, но и удаление хлорорганических соединений и микроэлементов. Применение разработанной технологии дает ключ изготовителям мембран эффективно определять область их применения, а поставщикам мембранных систем достигать наиболее оптимального макрокомпонентного состава очищенной воды.

В области внедрения нанофильтрационных установок накоплен опыт эксплуатации сотен систем. С течением времени в мембранных аппаратах появляются осадки (солей жесткости, гидроокиси железа, взвешенных веществ и др.), что вызывает изменение качества фильтрата – увеличивается жесткость, появляются соли железа, фториды и т.д. Накопленный опыт позволяет прогнозировать и производить смену-регенерацию мембранных фильтров до «проскока» в фильтрат нежелательных компонентов. Важной составляющей частью проводимых в настоящее время исследований является совершенствование самих мембран и программ прогнозирования качества воды с определением для каждого типа мембран и составов воды сроков надежной работы мембран до «проскока» в фильтрат загрязнений.

Современные нанофильтрационные мембраны и элементы на их основе позволяют задерживать соли,

состоящие из моно- или поливалентных ионов. Так, например, сульфаты, карбонаты, фосфаты задерживаются на 95 % и более, а хлориды, бикарбонаты, нитриты – на 50...70 %. Значительно лучше задерживаются соли кальция, магния, железа, марганца, тяжелых металлов, чем соли натрия, калия, лития. Применение же обратного осмоса позволяет удалять из исходной воды все растворенные соли – и вредные, и полезные. Фильтрат после обратного осмоса можно пить, если искусственно добавить все необходимые для организма человека соли. Получить питьевую воду, например из морской воды, можно только с применением высоконапорного обратного осмоса с селективностью не менее 99,5 %. Опыт показывает, что при общем солесодержании исходной воды до 2 г/л целесообразно применение нанофильтрации, а не обратного осмоса.

Разработка и освоение опытного промышленного производства композитных нанофильтрационных мембран, занимающих промежуточное положение между ультрафильтрационными и обратноосмотическими, имеющих селективность по хлориду натрия в диапазоне 50...70 % при достаточно высокой селективности (выше 90 %) по солям жесткости, делает их весьма привлекательными для удаления органических веществ с молекулярной массой более 100 D и частичного обессоливания воды. Это особенно важно для регионов, где

применение обратного осмоса может привести к практически полному обессоливанию, что крайне нежелательно, поскольку употребление в пищу воды с содержанием кальция менее 20 мг/л вызывает остеопороз, очень неприятное заболевание опорно-двигательной системы, а также оказывает негативное воздействие на сердечно-сосудистую систему. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики нанофильтрационных мембран, разработанных и выпускаемых ЗАО НТЦ «Владипор», и зарубежных аналогов.

Подбор конструкционных материалов и клеевых композиций должен обеспечить высокую технологичность изготовления элементов и полную реализацию функциональных свойств мембран. Для удобства комплектования установок разработаны и в настоящее время выпускаются пятнадцать типоразмеров нанофильтрационных рулонных фильтрующих элементов, отличающихся друг от друга габаритами, материалами, характеристиками. Большинство типов элементов соответствует по габаритам международным стандартам. В табл. 2 приведены характеристики нанофильтрационных и обратноосмотических рулонных элементов наиболее распространенных типоразмеров.

В табл. 3 представлены данные характеристик рулонных фильтрующих элементов, работающих в составе различных нанофильтрационных установок.

Таблица 1

Сравнительные характеристики композитных нанофильтрационных мембран ЗАО НТЦ «Владипор» и аналогов ведущих зарубежных стран

Показатель	«Владипор», Россия	«Hydranautics», США	«Osmonics», США	«Saehan», Корея
Марка мембраны	ОПМН-П	ESNA	DS-5	Данных нет
Производительность, л/м ² ·ч	≥120	45	40	54
Селективность по MgSO ₄ , %	≥ 98	≥ 98	≥ 98	≥ 98
Диапазон pH (рабочий)	2...12	3...10	2...11	3...10
Стойкость к активному хлору, мг/л	1	< 0,1	< 0,1	< 0,5

Таблица 2

**Сравнительные характеристики рулонных фильтрующих элементов
ЗАО НТЦ «Владипор» и аналогов ведущих зарубежных стран**

Характеристика	«Владипор», Россия	«Hydranautics», США	«Osmonics», США	«Saehan», Корея
Рулонные нанофильтрационные элементы				
Марка элемента	ЭРН-КП-100-1016	ESNA 1-4040	DK 4040C	Данных нет
Производительность, л/ч	500	360	315	
Селективность по MgSO ₄ , %	99	70 (NaCl)	98	
Стоимость, долл.	200	300	350	
Марка элемента	ЭРН-КП-200-1016	ESNA 1-LF	DK 8040C	NE 8040-N
Производительность, л/ч	2500	1200	1260	1890
Селективность по MgSO ₄ , %	99	99	98	98,5
Стоимость, долл.	650	850	900	Данных нет
Рулонные обратноосмотические элементы				
Марка элемента	ЭРО-КНИ-100-1016	ESPA 1-4040	AG 4040T	RE 4040-BL
Производительность, л/ч	450	400	370	400
Селективность по NaCl, %	99	99	99	99
Стоимость, долл.	220	280	300	260
Марка элемента	ЭРО-КНИ-200-1016	ESPA 1-8040	AK 8040 F400	RE 8040-BL
Производительность, л/ч	1890	1890	1650	1890
Селективность по NaCl, %	99	99	98	99
Стоимость, долл.	850	770	750	Данных нет

Таблица 3

Характеристики нанофильтрационных элементов на реальных средах

Селективность по модельному раствору NaCl, %	Элемент № 1	Элемент № 2
	60	70
По катионам:		
Натрий*	40...45	
Калий*	40...45	
Магний*	92...94	96
Кальций*	93...95	97
Алюминий*	95...98	
Железо**	98...99	99
Никель**	98...99	
Хром**	98...99	
Медь**	99	
Аммоний**	30...35	
По анионам:		
Хлориды*	40...50	65
Бикарбонаты*	50...60	75
Нитраты*	40...50	
Фториды*	40...50	
Силикаты*	90...95	
Сульфаты*	96...98	
Фосфаты*	90...95	
ХПК*	50...70	85
Ацетаты***	90...95	
АПАВ***	90...95	
Таннины****	90...95	

Условия испытаний: $t = 20...25$ °С, подача исходного раствора на ЭРН-КП-100-1016 не менее 1500 л/ч.

Примечания: * – вода водопроводная различных источников; ** – модельный раствор, концентрация тяжелых металлов 25...50 мг/л; *** – расшлихтованный раствор производства хлопчатобумажных тканей, концентрация АПАВ – 50 мг/л, ацетат-иона – 2 г/л; **** – экстракт лозги гречихи, концентрация таннидов от 3 до 20 г/л.

Большая часть нанофильтрационных элементов используется для комплектации установок по получению питьевой воды из различных источников. В основном это относится к качеству очищенной воды и степени конверсии, т.е.

к доле полученной чистой воды от общего количества воды, поданной на очистку. В табл. 4, 5, 6 приведены характеристики работающих установок по получению высококачественной воды.

Таблица 4

Нанофильтрационная установка по получению питьевой воды из поверхностных источников

Характеристика установки	Данные анализа воды	Исходная вода	Очищенная вода
Производительность – 10 м ³ /день	Общая жесткость, мг-экв/л	3...5	1...2
Рабочее давление – 12·10 ⁵ Па	SO ₄ ²⁻ , мг/л	20...30	5...10
	Щелочность, мг-экв/л	3...4	1...2
Отбор фильтрата – 70 %	Цветность, град	до 30	0
	Мутность, мг/л	до 15	0
	Железо общее, мг/л	до 1	0

Примечание: установки (40 штук) находятся в городе Альметьевске.

Таблица 5

Нанофильтрационная установка получения питьевой воды из артезианского источника

Характеристика установки	Данные анализа воды	Исходная вода	Очищенная вода
Производительность – 10 м ³ /день	Общая жесткость, мг-экв/л	10...15	3...4
Рабочее давление – 12·10 ⁵ Па	SO ₄ ²⁻ , мг/л	100...200	20...30
	Щелочность, мг-экв/л	3...5	1...2
Отбор фильтрата – 50 %	Цветность, град	30	0
	Мутность, мг/л	15	0
	Железо общее, мг/л	до 2	< 0,3
	Сухой остаток, г/л	до 3	до 0,5

Примечание: установка находится в городе Азнакаево.

Таблица 6

Нанофильтрационная установка по получению чистой воды на хлебокомбинате

Характеристика установки	Данные анализа воды	Исходная вода	Очищенная вода
Производительность – 2 м ³ /ч	Общая жесткость, мг-экв/л	2...5	0,5...1
Рабочее давление до 15·10 ⁵ Па	SO ₄ ²⁻ , мг/л	20...30	10...15
	Щелочность, мг-экв/л	3...4	1...2
Отбор фильтрата – 70 %	Цветность, град	до 40	0
	Мутность, мг/л	до 20	0
	Железо общее, мг/л	до 0,5	0
	Cl ⁻ , мг/л	до 25	10...15

Примечание: установка находится в городе Владимире.

**Технико-экономические показатели мембранных установок
для получения физиологически полноценной питьевой воды**

Производительность, м ³ /ч	Занимаемая площадь, м ²	Стоимость, р.
0,5	7	540 000
1,0	8	620 000
2,0	10	810 000
5,0	12	1070 000
10,0	15	1340 000

Полученные данные свидетельствуют о том, что благодаря применению нанофильтрационной установки во всех указанных случаях получается питьевая вода высокого качества. В табл. 7 приведена ориентировочная стоимость мембранных установок в зависимости от их производительности.

Выводы

Освоение опытно-промышленного производства мембран, фильтрующих элементов, серийный выпуск очистного оборудования позволит российским предприятиям успешно конкурировать с зарубежными производителями в сфере обеспечения населения, в том

числе сельского, питьевой водой требуемого качества.

Материал поступил в редакцию 25.03.10.

Дзюбенко Вячеслав Геннадьевич, кандидат химических наук, заведующий лабораторией технологии получения микрофильтрационных и газоразделительных мембран

Тел. 8 (4922) 47-52-67

Дубяга Владимир Павлович, кандидат химических наук, главный химик по проблеме мембран, директор ЗАО НТЦ «Владипор»

Тел. 8 (4922) 47-52-67

Вирюков Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Тел. 8 (499) 976-49-31