

УДК 628.16:62-278

Д. В. Спицов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕМБРАННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ В ГОРОДСКИХ ЗДАНИЯХ

Рассмотрены основные направления улучшения качества воды в современных зданиях и ее использования для хозяйственно-питьевых и технологических нужд. Приведены технологии и оборудование, используемые для умягчения воды и удаления из нее взвешенных и коллоидных частиц, хлорорганических соединений. Представлены экспериментальные данные и экономические расчеты, демонстрирующие преимущества технологии нанофильтрации по сравнению с классическими методами доочистки водопроводной воды. Представлен подход к обоснованию минимизации расходов воды на собственные нужды мембранных установок.

К л ю ч е в ы е с л о в а : водоподготовка, водопроводная вода, мембрана, нанофильтрация, питьевая вода, ультрафильтрация, умягчение.

The main guidelines to improve the water quality in modern buildings and the use it for domestic, drinking and technical purposes are described. Technologies and facilities are reduced for softening water and expulsion of suspended and colloid particles of chloroorganics. Experimental data and economical calculations which are demonstrated the advantages of the nanofiltration technology over the main water advanced treatment are represented. The treatment of minimization substantiation of flow quantities on the auxiliaries of the membrane units is described.

К e y w o r d s : water conditioning, main water, membrane, nanofiltration, drinking water, ultrafiltration, softening.

В последнее время все большее распространение получает доочистка водопроводной воды в городских зданиях для целей питьевого и технического водоснабжения. В квартирах и офисах, в общественных и образовательных учреждениях устанавливаются системы подготовки высококачественной питьевой воды, что часто оказывается экономически выгоднее использования бутилированной воды. Многие современные объекты — медицинские оздоровительные центры и поликлиники, элитные жилые дома, офисные здания предъявляют повышенные требования к составу водопроводной воды по содержанию железа, бактерий, взвешенных веществ, а также по жесткости. В крупных жилых, торговых и офисных комплексах требуется умягченная вода для бойлеров, котельных, систем кондиционирования и очистки воздуха.

Размещение, монтаж и эксплуатация установок очистки воды в городских зданиях имеет свои особенности, связанные с наличием ограниченных площадей и трудностью монтажа крупногабаритного оборудования, желанием заказчиков свести к минимуму частоту сервисного обслуживания. В ряде случаев экономический фактор оказывается решающим и при выборе системы водоподготовки, учитывается ее энергопотребление и расход воды на собственные нужды.

В настоящее время все большее предпочтение отдается мембранным методам улучшения качества водопроводной воды ввиду их относительно невысокой стоимости, компактности и простоты обслуживания. Рассмотрим основные направления их применения.

Одна из распространенных задач, возникающая как в жилых, так и в общественных зданиях, — это защита сантехники и оборудования, подключае-

мого к водопроводу, от продуктов коррозии стальных труб, окалины и взвешенных веществ. Эффективным решением этой проблемы являются системы, основанные на мембранном методе ультрафильтрации (рис. 1). Полимерные мембраны могут работать и на горячей воде (до 70...80 °С). Такие системы устанавливаются в разрыв трубопроводов подачи холодной и горячей воды около стояков или в другом удобном месте. Малые габариты и гибкая подводка позволяют разместить их даже в стесненных условиях городской квартиры — под ванной, под мойкой, в санитарно-технических нишах.

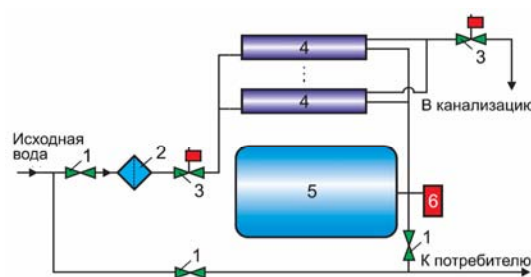


Рис. 1. Внешний вид (слева) и технологическая схема (справа) ультрафильтрационной установки для очистки горячей и холодной воды в жилых зданиях: 1 — шаровые краны для врезки в водопровод; 2 — сетчатый фильтр; 3 — магнитный клапан; 4 — ультрафильтрационные аппараты; 5 — напорный бак; 6 — реле давления

При доочистке питьевой воды традиционно используют механические напорные фильтры для очистки от взвешенных и коллоидных веществ (например, гидроокиси железа) и фильтры с сорбционной загрузкой для удаления органических соединений и запахов. Основные недостатки таких установок: громоздкость фильтров, трудности при их монтаже в помещениях, сложность обслуживания и замены загрузки, достаточно быстрое истощение сорбционной емкости активированного угля и высокая его стоимость.

Заменить механические фильтры могут установки ультрафильтрации, обеспечивающие более глубокое удаление из воды коллоидов железа, бактерий и вирусов [1]. Кроме того, мембранные установки компактны, имеют значительно меньшую массу и объем по сравнению с механическими фильтрами, что особенно важно при их размещении в городских зданиях.

Задача удаления органических загрязнений из водопроводной воды решается с помощью метода нанофильтрации, что позволяет сократить эксплуатационные затраты на замену сорбционной загрузки. Расчеты и исследования показывают, что предварительная обработка воды нанофильтрацией позволяет продлить ресурс сорбционных фильтров в 10—20 раз или уменьшить их объем, ограничившись их применением только на случай присутствия в воде запахов в период паводков или аварийных ситуаций на водоисточнике [2]. Кроме того, нанофильтрационные мембраны частично убирают из воды жесткость и щелочность, делая воду пригодной для использования в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения, что позволяет отказаться от умягчителей и дополнительных расходных материалов (таблетированной соли).

Для выбора и обоснования применения мембранной технологии проводились исследования эффективности снижения в водопроводной воде перманганатной окисляемости и содержания растворенных органических веществ (табл. 1, рис. 2). Обобщенно содержание органических соединений в воде оценивалось по характеру кривых светопоглощения, где молекулярной массе и природе органических веществ соответствует определенная длина волны. Сравнивались следующие схемы: сорбция на угольном фильтре, нанофильтрация, нанофильтрация и сорбция.

Т а б л и ц а 1

Показатель	Исходная вода	После угольного фильтра при расходе, л/ч		После нано- фильтрацион- ных мембран
		240	60	
Жесткость, мг-экв/л	2,8	2,8	2,8	1,4
Перманганатная окисляемость, мг/л	6	5,2	3,6	3,1
Цветность, град	17	15	14	8
Хлориды, мг/л	22,7	—	—	18,5

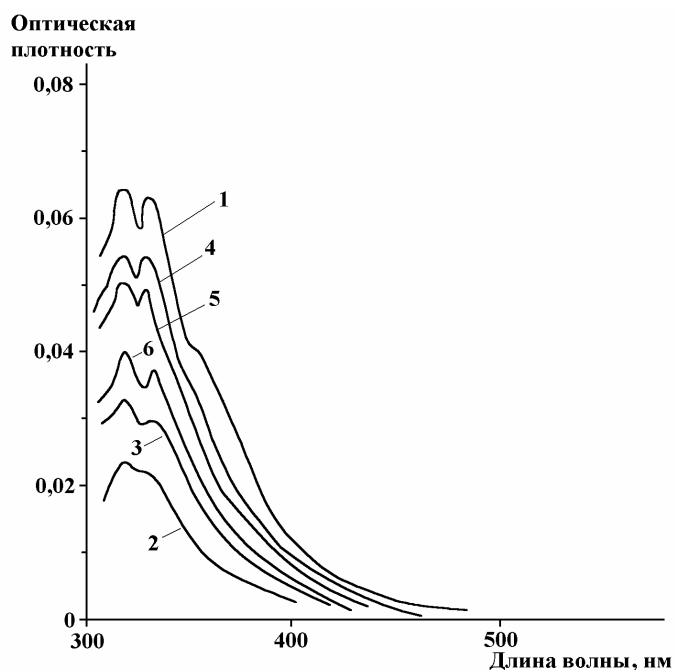


Рис. 2. Сравнение оптических спектров водопроводной воды: исходной и очищенной на нанофильтрационных мембранах и на угольном фильтре: 1 — вода московского водопровода; 2 — вода после фильтрования через угольный фильтр, расход 240 л/ч; 3 — то же, расход 120 л/ч; 4 — то же, расход 60 л/ч; 5 — вода, очищенная с помощью нанофильтрационных мембран; 6 — вода после нанофильтрационных мембран и угольного фильтра

Экономический эффект от применения технологии нанофильтрации определяется сокращением затрат на обслуживание установок доочистки водопроводной воды (рис. 3).

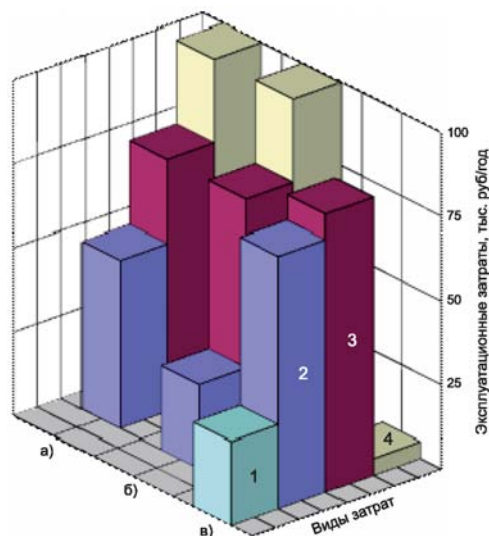


Рис. 3. Структура эксплуатационных затрат установок доочистки: *а* — осветлительно-сорбционные фильтры; *б* — ультрафильтрация с сорбционными фильтрами; *в* — нанофильтрация (сорбционные фильтры); 1 — электроэнергия; 2 — промывные воды; 3 — амортизационные отчисления; 4 — замена угля

При подготовке воды для специальных технологических нужд — подпитки контуров теплосети и отопления, оросителей и испарителей систем кондиционирования воздуха, паровых котлов «крышных котельных» используются нанофильтрационные мембраны с разными показателями селективности (солезадерживающей способностью). Например, для нужд подпитки теплосети и горячего водоснабжения карбонатный индекс КИ очищенной воды должен удовлетворять следующим условиям:

$$KI = [Ca^{+2}] \cdot [HCO_3^-] \leq 2 \dots 5,$$

где $[Ca^{+2}]$ и $[HCO_3^-]$ — концентрация кальция и щелочность, мг-экв/л.

Для обеспечения таких требований идеально подходят нанофильтрационные мембраны в сочетании с мембранными элементами с «открытым» каналом, исключающим образование застойных зон и осадка карбоната кальция, резко снижающего время работы аппарата [3].

При необходимости получения питательной воды для паровых котлов и контуров систем кондиционирования воздуха требуется вода со значениями жесткости на уровне 0,01...0,02 мг-экв/л. Традиционно для получения глубоко умягченной воды используются двухступенчатые системы натрийкатионирования или вместо первой ступени натрийкатионирования установки обратного осмоса. И в том, и в другом случае схемы глубокого умягчения требуют высоких эксплуатационных затрат (на таблетированную соль, ингибитор, моющие растворы, частое сервисное обслуживание) и расходов на утилизацию регенерационных растворов.

Для получения глубоко умягченной воды разработаны схемы двухступенчатого умягчения воды с применением мембранных нанофильтрационных аппаратов с «открытым» каналом на первой ступени и аппаратов обратного осмоса на второй ступени (рис. 4). При эксплуатации таких схем не требуются

ся реагенты. Период безостановочной работы составляет свыше 2500 ч. В ряде случаев целесообразно применять специально разработанные патроны с порошкообразным ингибитором для повышения надежности систем обратного осмоса.

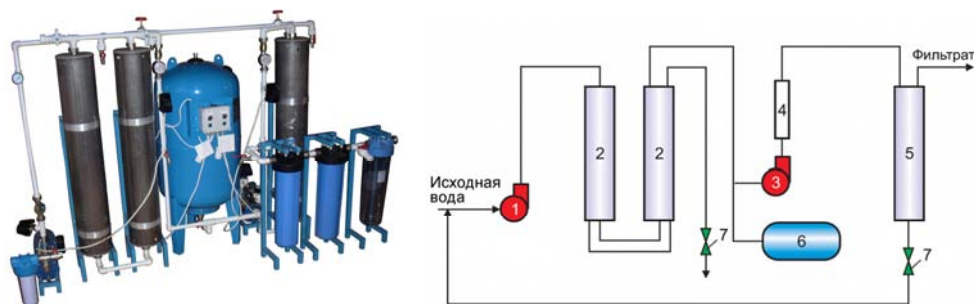


Рис. 4. Внешний вид (слева) и технологическая схема (справа) установки получения глубоко умягченной воды производительностью до 12 м³/сут: 1 — насос первой ступени; 2 — нанофильтрационные аппараты первой ступени; 3 — насос второй ступени; 4 — обратноосмотический аппарат; 5 — промежуточный бак-аккумулятор; 6 — ингибиторный патрон; 7 — вентиль регулировки давления

Для прогнозирования качества воды, очищенной с помощью нанофильтрационных мембран, разработана специальная программа [2], которая позволяет для разных типов мембран определить концентрации различных ионов, а также значения цветности и перманганатной окисляемости в фильтрате и концентрате установок в зависимости от состава исходной воды, величины рабочего давления, выхода фильтрата (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатель	ИВ	Тип мембран											
		NE 70				NE 90				RE BLN			
		Выход фильтрата 50 %		Выход фильтрата 75 %		Выход фильтрата 50 %		Выход фильтрата 75 %		Выход фильтрата 50 %		Выход фильтрата 75 %	
		Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К
Катионы, мг/л:													
Ca ²⁺	400	300	500	320	640	136	660	204	976	16	780	32	1504
Mg ²⁺	340	255	425	272	544	116	561	173	830	13,6	663	27,2	1278
Na + K	1150	1070	1219	1104	1254	587	1702	908	1863	242	2058	460	3220
Fe ²⁺	1,5	0,75	2,25	1,02	2,94	0,6	2,4	0,69	3,92	0,07	2,93	0,12	5,64
NH ₄ ⁺	1,5	1,27	1,73	1,38	2,91	0,48	2,13	0,96	2,55	0,18	2,82	0,35	4,97
Анионы, мг/л:													
Cl ⁻	1750	1663	1838	1680	1925	945	2538	0	2730	332, 5	3167	630	5110
SO ₄ ²⁻	960	480	1440	576	2112	240	1670	298	2928	33,6	1882	96	3552
HCO ₃ ⁻	1220	732	1708	793	2501	720	1549	1025	1769	193	2245	366	3782
F ⁻	10	6,3	13,7	6,7	19,7	3,8	16,2	7,2	18,2	0,7	19,3	1,25	36,2

Примечание: ИВ — исходная вода; Ф — фильтрат; К — концентрат.

Главное преимущество программы состоит в возможности проведения оптимизации при выборе наиболее эффективных для заданного случая типа и марки мембран, соответствующих высокому качеству очищенной воды, минимальным значениям эксплуатационных затрат, расхода электроэнергии, величины сброса концентрата (рис. 5, 6).

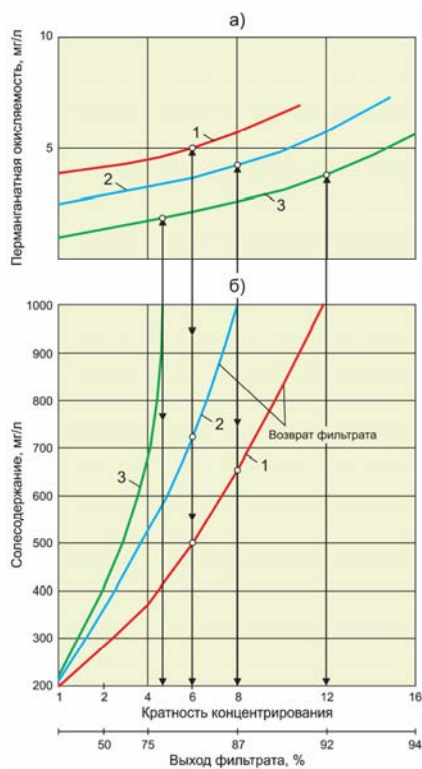


Рис. 5. Определение максимально возможной величины выхода фильтрата в зависимости от типа мембран: а — изменение качества фильтрата в зависимости от величины выхода фильтрата; б — зависимость соленосодержания концентрата от выхода фильтрата при использовании различных типов мембран: 1 — NE 70; 2 — NE 90; 3 — BLN

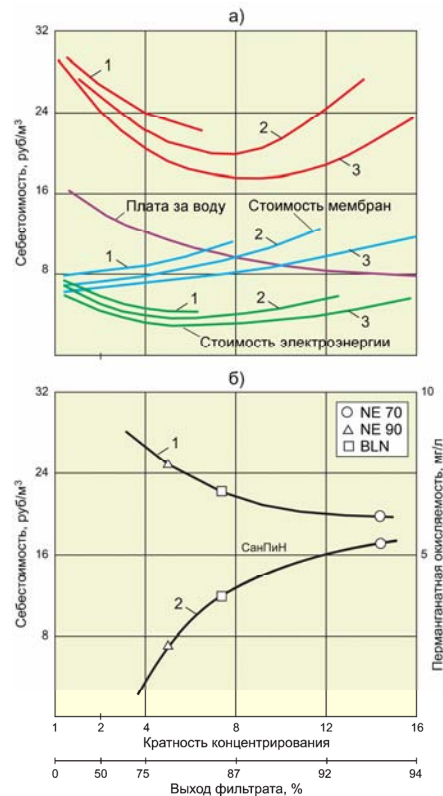


Рис. 6. Определение оптимальных параметров себестоимости очистки: а — себестоимость в зависимости от величины выхода фильтрата: 1 — BLN; 2 — NE 90; 3 — NE 70; б — влияние качества воды на величину выхода фильтрата: 1 — себестоимость; 2 — качество фильтрата

Системы нанофильтрации эффективно очищают воду от загрязнений (в том числе органических), что выражается в снижении перманганатной окисляемости. Мембранные установки имеют минимальные эксплуатационные затраты по сравнению с установками сорбционной очистки. Традиционно считается, что главным недостатком мембранной технологии является высокий расход воды на собственные нужды (от 35 до 50 % расхода фильтрата). Разработанная программа по прогнозированию состава фильтрата нанофильтрационных установок позволяет определить концентрации различных загрязнений в фильтрате в зависимости от соотношения расхода фильтрата и концентрата (см. рис. 5, а).

Максимальная степень концентрирования воды в установке (минимальный расход сбросного расхода концентрата) определяется предельно допустимым солесодержанием, которое в городских зданиях в соответствии с правилами приема воды в канализацию составляет 1000 мг/л. На рис. 5, б приведены зависимости общего солесодержания концентрата мембранных установок от величины выхода фильтрата (кратности объемного концентрирования воды в установке). Чем ниже паспортное значение селективности мембран по солям, тем большей степени объемного концентрирования (величины выхода фильтрата) можно добиться.

Чем ниже селективность мембран, тем хуже качество очищенной воды по заданному типу загрязнений. Рис. 5 и 6 иллюстрируют подбор оптимальных параметров работы установки (типа мембран, стоимости установки, величины выхода фильтрата) на примере снижения перманганатной окисляемости водопроводной воды.

Как показывают результаты расчетов, применение мембран с низкой селективностью позволяет довести выход фильтрата до 96 %, что в условиях высокой платы за воду делает системы нанофильтрации экономичными в отношении расходов на собственные нужды. Себестоимость очистки снижается с увеличением выхода фильтрата, что достигается использованием низкоселективных мембран (см. рис. 6, б), при этом ухудшается качество фильтрата. Выбор оптимального типа мембран определяется соображениями себестоимости, уровня загрязненности исходной воды и глубины ее очистки.

Описанные технологии применяются при разработке систем улучшения качества водопроводной воды для отдельных жилых и офисных зданий; систем подготовки воды подпитки теплосетей и бойлеров жилых и промышленных зданий; систем улучшения качества воды из технических водопроводов городских предприятий; систем подготовки питательной воды паровых котлов среднего и высокого давления («крышных котельных» и мини-ТЭЦ) для теплоснабжения зданий или городских жилых комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology / M. Peter-Varbanets, C. Zurbrugg, C. Swartz, W. Pronk // Water Research. 2009. V. 43. Issue 2. P. 245—265.
2. Программа для технологического расчета систем нанофильтрации / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Д. В. Спицов, В. В. Кондратьев // Водоснабжение и сантехника. 2008. № 11. С. 12—19.
3. Совершенствование конструкций мембранных аппаратов — ключ к созданию безреагентных технологий с выходом фильтрата до 99 % / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Д. В. Спицов, Е. Б. Юрчевский // Критические технологии. Мембраны. 2010. № 3 (47). С. 3—14.
1. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology / M. Peter-Varbanets, C. Zurbrugg, C. Swartz, W. Pronk // Water Research. 2009. V. 43. Issue 2. P. 245—265.
2. Programma dlya tekhnologicheskogo rascheta sistem nanofiltratsii / A. G. Pervov, A. P. Andrianov, D. V. Spitsov, V. V. Kondratyev // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2008. № 11. S. 12—19.
3. Sovershenstvovaniye konstruktsi membrannykh apparatov — klyuch k sozdaniyu bezreagentnykh tekhnologii s vykhodom filtrata do 99 % / A. G. Pervov, A. P. Andrianov, D. V. Spitsov, E. B. Yurchevski // Kriticheskiye tekhnologii. Membrany. 2010. № 3 (47). S. 3—14.

© Спицов Д. В., 2011

Поступила в редакцию
в октябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Спицов Д.В. Использование мембранных установок для улучшения качества водопроводной воды в городских зданиях // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 4(19).