

ВОДOPPOBODHАЯ OЧИCTHАЯ CTАHЦИЯ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ ГОРОДСКОГО ОКРУГА АРМЯНСК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Протасовский Е. М., Бубырев Д. И.

WATER PURIFICATION PLANT OF UNDERGROUND WATER URBAN DISTRICT OF ARMYANSK REPUBLIC OF CRIMEA

Protasovsky E. M., Bubyrev D. I.

Аннотация

Городской округ Армянск, расположенный на Крымском полуострове, получает воду только из артезианских скважин Исходненского водозабора. Подземные воды обладают высокими жесткостью и минерализацией и не могут быть использованы в хозяйственно-бытовых целях без опреснения.

Статья посвящена разработке технологии очистки подземной воды Исходненского водозабора, технологическая схема состоит из фильтрации, обессоливания методом обратного осмоса и кондиционирования, путем смешения обессоленной и исходной подземной воды. Концентрат от обратноосмотических установок сбрасывается в канализационную сеть г. Армянска и далее в Черное море через глубоководный выпуск.

Ключевые слова: очистные сооружения, подземные воды, обратный осмос, опреснение.

Abstract

The town of Armyansk, located on the Crimean peninsula, can receive water only from artesian wells. Underground waters of the Republic of Crimea have high rigidity and mineralization, and can not be used for domestic purposes without deep processing.

The work is devoted to the development of the underground water cleaning station of the city of Armyansk, the technological scheme consists of filtration, desalination by reverse osmosis and conditioning, by mixing desalted and filtered water. Concentrate from reverse osmosis plants is discharged into the Black Sea via a deep-water outlet.

Keywords: treatment facilities, groundwater, reverse osmosis, desalination.

Городской округ (г. о.) Армянск расположен на Перекопском перешейке, соединяющем Крымский полуостров с континентом. Расчетная подача питьевой воды в сутки наибольшего потребления составляет 12,5 тыс. м³/сут. Производительность ВОС принимается 13 тыс. м³/сут.

Источником водоснабжения г. о. Армянска является Исходненский водозабор месторождения подземных вод, расположенный в 12 км севернее города. Запасы подземных вод Исходненского водозабора находятся в водоносном слое сармат-меотис-понтийских отложений.

Вода Исходненского водозабора содержит: минерализацию — 1300 мг/л и общую жесткость — 10 ммоль/л, что превышает нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 [3]. Растворенные минеральные примеси подземной воды представлены ионами Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻. Состав воды Исходненского водозабора представлен в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 свидетельствует, что минерализация, жесткость и содержание хлоридов превышает установленные нормативы [3]. Для использования подземных вод Исходненского водозабора для хозяйственно-питьевого водоснабжения жителей в соответствии с законодательством РФ [1, 2] принято решение осуществить опреснение подземных вод, используемых в централизованной системе водоснабжения г. о. Армянска.

Известными методами обессоливания воды являются: ионный обмен, обратный осмос, электролиз, дистилляция. В табл. 2 представлен анализ методов обессоливания воды.

Результаты анализа методов обессоливания воды свидетельствуют, что наиболее рациональной является технология обратноосмотического фильтрации. В табл. 3 представлены нормативы качества к обрабатываемой воде на установках обратного осмоса.

Таблица 1

Качественный состав воды Исходненского водозабора

№ п/п	Исследуемые показатели	Ед. изм.	Норматив СанПиН 2.1.4.1074-01	Концентрация
1	Температура	°С		5
3	pH	ед.pH	6–9	7,1
4	Мутность	мг/л	< 2,6(3,5)	0,72
5	Перманганатная окисляемость	мг/л	< 5,0	0,72
6	Минерализация	мг/л	< 1000	1300
7	Жесткость	мг-экв./л	< 7	10,0
8	Натрий	мг/л	< 200	180
9	Кальций	мг/л		150
10	Магний	мг/л	< 50	30
11	Железо общее	мг/л	< 0,3	0,2
12	Сульфаты	мг/л	< 500	420
13	Хлориды	мг/л	< 350	700
14	Карбонаты	мг/л		170

Технологическая схема опреснения воды была разработана на основе анализа данных табл. 1, 3. Она включает: предварительную очистку воды от железа посредством зернистых фильтров с упроченной аэрацией, обессоливание воды на установках обратного осмоса, кондиционирование обессоленной воды путем ее смешения до норм [1] с исходной водой Исходненского водозабора, обеззараживание кондиционированной воды гипохлоритом натрия.

Обратноосмотические мембраны являются полупроницаемыми, молекулы воды способны проникать через мембрану, а молекулы растворенных в воде солей — нет. Кроме того, в связи с тем что размер пор сопоставим с размером

молекул и ионов к процессу перехода воды через мембрану подключается и диффузионная составляющая. В случае, когда на раствор с большей концентрацией воздействует создаваемое насосом внешнее давление, превышающее осмотическое, молекулы воды двигаются через полупроницаемую мембрану в обратном направлении, т. е. из более концентрированного раствора в менее концентрированный. В процессе обратного осмоса вода и растворенные в ней вещества разделяются на молекулярном уровне, при этом с одной стороны мембраны накапливается практически идеально чистая вода, а все загрязнения остаются по другую ее сторону. В процессе обессоливания воды концентрация солей со стороны

Таблица 2

Анализ методов обессоливания воды

Наименование метода опреснения	Достоинства	Недостатки
Ионный обмен	Надежность. Устойчивость к колебаниям состава питающей воды. Минимальные капитальные и энергетические затраты	Высокий расход реагентов. Большое число технологических операций. Высокие объемы регенерационных отходов, сложность их утилизации
Обратный осмос	Высокое качество очищенной воды. Минимальное количество используемых реагентов и суммарное поступление солевых отходов в окружающую среду	Тщательная подготовка питательной воды. Непрерывный режим установки при постоянном расходе питающей воды
Электродиализ	Устойчивость к колебаниям расхода и состава питающей воды. Снижение объема концентрата большей минерализации по сравнению с обратным осмосом	Более высокие затраты электроэнергии по сравнению с обратным осмосом
Дистилляция	Минимальное количество реагентов. Минимальный сброс солевых отходов в окружающую среду. Высокое качество дистиллята. Возможность использования избыточного тепла	Высокие капитальные затраты. Высокий расход энергии

Таблица 3
Требования к составу обрабатываемой воды
методом обратного осмоса

№ пп	Параметр	Ед. изм.	Значение лимита
1	Температура	°С	5,0–30,0
2	Мутность	мг/л	0,3
3	Цветность, не более	градус	1–3
4	Перманганатная окисляемость	мг О ₂ /л	10
5	ХПК, не более	мгО ₂ /л	15–20
6	Общее солесодержание, не более	мг/л	1000–20 000
7	Жесткость общая, не более	ммоль/л	15–20
8	Значение pH исходной воды, не более		3,0–10,0
9	Железо	мг /л	0,05
10	Марганец общий, не более	мг /л	0,0–0,05
11	Алюминий общий, не более	мг /л	0,0–0,1
12	Нефтепродукты, не более	мг/л	0,1–0,5
13	Сероводород и сульфиды	мг/л	0,0
14	Свободный активный хлор, не более	мг/л	0,0–0,1

входа возрастает, из-за чего мембрана может засориться и перестать работать. Для предотвращения этого вдоль мембраны создается принудительный поток воды, смывающий «рассол» в дренаж. Мембраны представляют собой тонкие пленочные композиционные мембраны, уложенные в форме спиральной навивки. Элемент состоит из мембранных полотен. Каждое полотно мембраны состоит из двух мембранных листов, склеенных между собой изнаночными сторонами с пермеатным разделителем между ними. Полотна скручены с помощью листа разделителя (сетки) подачи между каждым из них, обеспечивающего каналы для потока исходной воды и концентрата. При эксплуатации исходная вода попадает на лицевую часть элемента через каналы разделителя подачи и выходит с противоположного конца в виде концентрата. Центральная перфорированная трубка собирает пермеат со всех полотен. Схема мембранного обратноосмотического элемента представлена на рис. 2. Мембрана состоит из трех слоев: полотно основы из полиэфира (120 мк), промежуточный слой из микропористого полисульфона (40 мк) и ультратонкий заграждающий поверхностный слой из полиамида (0,2 мк).

При температуре 5 °С подземная вода обладает высокой вязкостью и, следовательно, высоким сопротивлением при фильтровании через мембраны обратного осмоса, что обуславливает использование большего количества мембранных элементов и требует создания более высокого давления. Для повышения ресурсо- и энергоэффективности проектируемого блока обратного осмоса температура питающей воды увеличивается до 20 °С, для чего предусмотрен нагрев питающей воды до заданной температуры.

Согласно произведенным технологическим расчетам (табл. 4), с учетом степени концентрации солей, существует угроза образования в концентрате кристаллов труднорастворимых соединений, которые способны закупоривать поры мембран. Для предотвращения образования кристаллов на поверхности обратноосмотических мембран схемой предусматривается установка дозирования антискаланта, состоящая из бака-мерника и насоса-дозатора. Дозирование осуществляется пропорционально потоку питающей воды.

Балансовая схема водоподготовки, представленная на рис. 2, предусматривает подачу подземной воды на ВОС в размере 13,7 тыс. м³/сут, из них 4,7 тыс. м³/сут подается на обессоливание в блок обратного осмоса и 9 тыс. м³/сут. смешивается с пермеатом. После кондиционирования 13 тыс. м³/сут проходит обеззараживание и направляется потребителям.

В процессе обессоливания образуется 700 м³/сут концентрата, имеющего солесодержа-

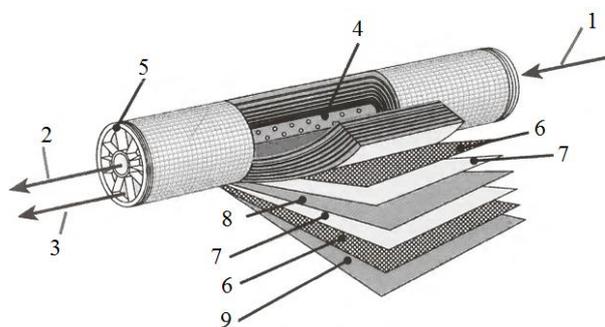


Рис. 1. Схема устройства обратноосмотического мембранного элемента: 1 — исходная вода; 2 — пермеат; 3 — концентрат; 4 — перфорированная трубка; 5 — антителескопическое устройство; 6 — сетка-сепаратор; 7 — мембрана; 8 — дренаж пермеата; 9 — наружная оболочка

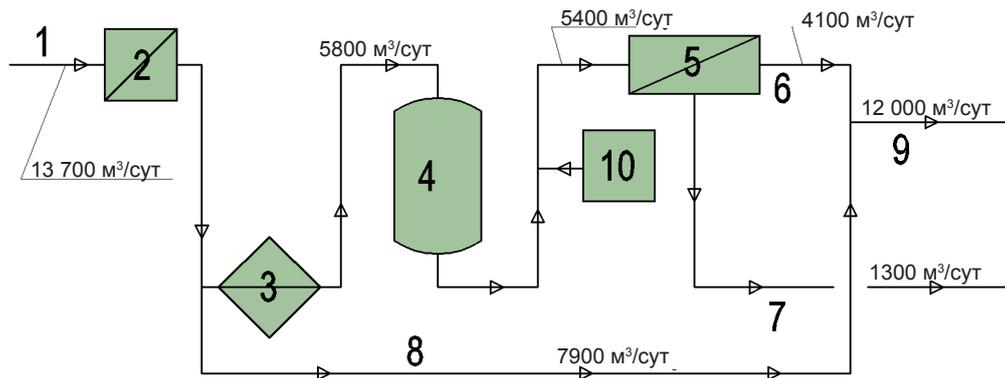


Рис. 2. Балансовая схема процесса водоподготовки: 1 — подача воды из скважин; 2 — фильтр грубой очистки; 3 — теплообменник; 4 — напорный фильтр; 5 — обратноосмотическая установка; 6 — пермеат; 7 — концентрат (сбрасывается в Черное море); 8 — вода на подмес; 9 — подача воды в РЧВ; 10 — подача антискаланта

Таблица 4

Характеристика работы блока обратного осмоса

№ пп	Параметр	Ед. изм.	Величина
1	Температура питающей воды	°С	20,0
2	Выход пермеата	%	76
3	Степень концентрации солей		4,17
4	Расход питающей воды	м³/сут	5400
5	Расход пермеата	м³/сут	4100
6	Расход концентрата	м³/сут	1300
7	Удельное потребление электроэнергии	кВт-ч/м³	0,7
Состав концентрата:			
8	Минерализация	мг/л	8580
9	Натрий	мг/л	1320
10	Кальций	мг/л	990
11	Магний	мг/л	198
12	Сульфаты	мг/л	2770
13	Хлориды	мг/л	4620

Таблица 5

Эксплуатационные характеристики

№ пп	Параметр	Ед. изм.	Величина
1	Производительность станции	м³/сут	13000
2	Сметная стоимость оборудования, млн руб	млн руб.	324,26
3	Сметная стоимость строительства ВОС, млн. руб	млн руб.	869,10
4	Энергозатраты, кВт-час/м³	кВт-ч/м³	0,82
5	Себестоимость воды, руб./м³	руб./м³	36,66

ние 8,58 г/л. Предусматривается сброс концентрата вместе с очищенными хозяйственными водами города через глубоководный рассеивающий выпуск в Черное море.

Выводы

1. Принятая схема обработки воды с использованием процесса обратного осмоса позволяет произвести опреснение воды до требований [3], себестоимость очистки 1 м³ воды для ВОС г. о. Армянска будет составлять 28 руб.

2. Концентрат обратноосмотической установки целесообразно направлять в систему водоотведения города для последующего сброса в Чер-

ное море через глубоководный рассеивающий выпуск совместно с очищенными хозяйственными сточными водами.

Литература

- (2017). Федеральный закон № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ред. от 29.07.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.09.2017).
- (2017). Федеральный закон от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» (ред. от 29.07.2017).
- Главный государственный санитарный врач Российской Федерации (2001). СанПиН 2.1.4.1074-01. *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.*
- Министерство регионального развития Российской Федерации (2012). *Свод правил СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.* М., 2012.
- Всеволожский, В. А. (2007). *Основы гидрогеологии.* М.: Изд-во МГУ, 448 с.,
- Рипский, Е. В. (ред.) (1971). *Гидрогеология СССР, т. VIII, Крым.* М., Недра, 364 с.
- Тарасенко, В. С. (ред.) (2003). *Устойчивый Крым. Водные ресурсы.* Симферополь: Таврия, 413 с.

8. Туабе, П. Р., Баранова, А. Г. (1983). *Химия и микробиология воды*. М.: Высшая школа, 280 с.
9. Кульский, Л. А., Строкач, П. П. (1986). *Технология очистки природных вод*. Киев: Вища школа, 240 с.
10. Кульский, Л. А., Гороновский, И. Т., Когановский, А. М. (1980). *Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды*. Киев: Наукова думка, 1206 с.
11. Крылов, А. С., Лавыгин, В. М., Очков, В. Ф. (2006). *Водоподготовка в энергетике*. М.: Издательский дом МЭИ, 309 с.
12. Гужулев, Э. П., Гриценко, В. И., Таран, М. А. (2005). *Водоподготовка и водно-химические режимы в энергетике*. Омск: Изд-во ОмГТУ, 384 с.
13. Мудлер, М. (1999). *Введение в мембранную технологию*. М.: Мир, 513 с.
14. Духин, С. С., Сидорова, М. П., Ярошук, А. Э. (1991). *Электрохимия мембран и обратный осмос*. Л.: Химия, 192 с.
15. Дытнерский, Ю. И. (1986). *Баромембранные процессы. Теория и расчет*. М.: Химия, 272 с.

References

1. (2017). Federal'nyj zakon № 52-FZ «*O sanitarno-ehpidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya*» [On the sanitary-epidemiological welfare of the population] (red. ot 29.07.2017) (s izm. i dop., vstup. v silu s 30.09.2017).
2. (2017). Federal'nyj zakon ot 07.12.2011 № 416-FZ «*O vodosnabzhenii i vodootvedenii*» [On water supply and sanitation]. (red. ot 29.07.2017) .
3. Glavnyj gosudarstvennyj sanitarnyj vrach Rossijskoj Federacii (2001). SanPiN 2.1.4.1074-01. *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control].
4. Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii (2012). *Svod pravil SP 31.13330.2012 Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [Code of Regulations SP 31.13330.2012 Water supply. External networks and facilities]. М., 2012.
5. Vsevolozhskij, V. A. (2007). *Osnovy gidrogeologii* [Basic concepts of Hydrogeology]. М.: Izd-vo MGU, 448 p.
6. Ripskij, E. V. (ed.) (1971). *Gidrogeologiya SSSR, t. VIII, Krym* [Hydrogeology of the USSR, Vol. VIII, Crimea]. М., Nedra, 364 p.
7. Tarasenko, V. S. (ed.) (2003). *Ustojchivyy Krym. Vodnye resursy* [Stable Crimea. Water resources]. Simferopol': Tavriya, 413 p.

8. Tuabe, P. R., Baranova, A. G. (1983). *Himiya i mikrobiologiya vody* [Water Chemistry and Microbiology]. М.: Vysshaya shkola, 280 p.
9. Kul'skij, L. A., Strokach, P. P. (1986). *Tekhnologiya ochistki prirodnyh vod* [Technology of natural water purification]. Kiev: Vishcha shkola, 240 p.
10. Kul'skij, L. A., Goronovskij, I. T., Koganovskij, A. M. (1980). *Spravochnik po svojstvam, metodam analiza i ochistke vody* [Handbook of properties, methods of analysis and water purification]. Kiev: Naukova dumka, 1206 p.
11. Krylov, A. S., Lavygin, V. M., Ochkov, V. F. (2006). *Vodopodgotovka v ehnergetike* [Water treatment in power industry]. М.: Izdatel'skij dom МЭИ, 309 p.
12. Guzhulev, E. P., Gricenko, V. I., Taran, M. A. (2005). *Vodopodgotovka i vodno-himicheskie rezhimy v ehnergetike* [Water treatment and water-chemical regimes in power industry]. Омск: Izd-vo OmGTU, 384 p.
13. Mudler, M. (1999). *Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu* [Basic principles of membrane technology]. М.: Mir, 513 p.
14. Duhin, S. S., Sidorova, M. P., Yaroshchuk, A. E. (1991). *Elektrohimiya membran i obratnyj osmos* [Electrochemistry of membranes and reverse osmosis]. Л.: Himiya, 192 p.
15. Dytnerskij, Yu. I. (1986). *Baromembrannye processy. Teoriya i raschet* [Baromembrane processes. Theory and calculations]. М.: Himiya, 272 p.

Авторы

Евгений Михайлович Протасовский, канд. техн. наук
ГУП «ЛЕНГИПРОИНЖПРОЕКТ»
E-mail: protasovskii@lgip.spb.ru

Дмитрий Иванович Бубырев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: bubyrevdmitriy@gmail.com

Authors

Protasovsky Evgeniy Mikhailovich, Ph. D. in Engineering
LENGIPROINZHPROJECT
E-mail: protasovskii@lgip.spb.ru

Bubyrev Dmitriy Ivanovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: bubyrevdmitriy@gmail.com