

Анализ работы установки водоподготовки с мембранным обратноосмотическим блоком при сезонных изменениях качества воды

А.Ю. Власова, Р.Ф. Камалиева, Р.Р. Вилданов

Казанский государственный энергетический университет

Аннотация: Предприятия топливно-энергетического сектора в поисках новых экологически безопасных и экономически целесообразных процессов внедряют мембранные технологии в систему подготовки воды. Основными преимуществами данных методов являются: технологическая простота конструкции, минимальное количество использования химических реагентов, отсутствие фазовых переходов и нейтральность сточных вод. Но, несмотря на довольно весомые преимущества, использование данных процессов в течение длительного времени может усугубиться сезонными изменениями качества природной воды в водоисточнике. В данной работе проведен анализ установки обратного осмоса на основании результатов лабораторных экспериментов показателей качества воды на входе в установку и пермеата. А также представлены усредненные результаты по каждому показателю за все время эксперимента.

Ключевые слова: установка обратного осмоса, пермеат, сезонные изменения качества природной воды, тепловые электрические станции.

Применение мембранных методов для очистки и обессоливания воды на тепловых электрических станциях является необходимым и перспективным направлением в системе водоподготовки. Мембранные технологии представляют собой современные и эффективные методы очистки, основанные на природных физико-химических принципах фильтрации воды.

Основой мембранной технологии является полупроницаемая мембрана, которая выполняет роль фильтрующего элемента в системе очистки. Процесс основан на пропускании исходной воды под давлением через мембрану, где молекулы воды проникают через мельчайшие поры мембраны, а примеси, в свою очередь, задерживаются и остаются в исходной воде [1]. Таким образом, исходная вода разделяется на два потока: фильтрат – очищенная вода, поступающая на дальнейшие этапы водоподготовки, и концентрат, содержащий соли и примеси, который сливается в дренаж.

Способность мембранной технологии эффективно удалять загрязнения и одновременно обеспечивать высокие показатели качества очищенной воды является одним из главных ее преимуществ [2]. Также стоит отметить, что в отличие от других применяемых технологий предочистки воды полупроницаемая мембрана благодаря своим техническим свойствам не накапливает различного рода примесей, присутствующих в исходной воде и таким образом не загрязняет уже очищенную воду [3].

Мембранные процессы могут быть классифицированы в зависимости от размера задерживаемых частиц, и включают в себя микрофльтрационные, предназначенные для грубой очистки воды, ультрафльтрационные, применяемые для удаления органических соединений и бактерий, нанофльтрационные, используемые для задерживания некоторых растворенных в воде солей, и обратноосмотические мембраны способные удалять практически все растворенные вещества [4].

Среди остальных преимуществ применения данной технологии следует выделить низкие эксплуатационные затраты, простоту конструкции и экологичность использования, так как в процессе применения мембранного метода очистки воды отсутствует необходимость применения реагентов и, соответственно, нет химических сбросов в окружающую среду и загрязнения ими поверхностных и подземных водных источников, низкие энергозатраты в результате отсутствия фазового перехода для отделения примесей, а также относительно низкое потребление электроэнергии для проведения мембранных процессов и составляет от 2 до 2,5 кВт-ч/м³ фильтрата [5,6].

При использовании комбинированного подхода к очистке исходной воды эффективность применения мембранной технологии возрастает. Как правило, процесс обессоливания является чаще всего двухступенчатым, на первой ступени устанавливается мембранная технология (обратный осмос), а на второй ступени – ионообменные фильтры (Н и ОН ионирование), также

может быть использован фильтр смешанного действия. В зависимости от вида используемых фильтров, регенерация подбирается индивидуально с учетом особенностей оборудования [7].

Технология подготовки воды на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), использующая обратный осмос, пользуется спросом. Её принцип заключается в разделении двух растворов с разным содержанием солей прозрачной мембраной с размерами пор, соответствующими размерам молекулы [8]. Мембрана пропускает только молекулы воды, задерживая при этом загрязнения и различные частицы примесей.

Использование системы обратного осмоса позволяет получить воду высокого качества, что увеличивает срок службы дорогостоящих ионообменных смол и значительно снижает затраты на их регенерацию [9], а также данная система превосходит по эффективности уже существующие ионообменные фильтры [10].

Конкурентоспособность водоподготовительных установок с включением технологии обратного осмоса продолжает расти, так как данный метод не имеет агрессивных сточных вод, отсутствует потребление дорогостоящих химических реагентов. Так как в качестве сточных вод образуются нейтральные солевые концентраты, то данные воды можно повторно вернуть в цикл производства после предварительной очистки, таким образом снизится потребление природной воды. Также технология обратного осмоса является компактной, модули занимают небольшое пространство, а за счет полной автоматизации и установки всех необходимых датчиков слежения процесса возможен дистанционный контроль. Благодаря расширению ассортимента и увеличению объема производства, данные технологии становятся более доступными для многих предприятий.

Анализ работы установки водоподготовки с включением обратноосмотического блока позволяет определить основные достоинства

системы и выявить существенные недостатки. Для получения достоверных результатов анализ проводился в течение одного года. Для эксперимента была выбрана ВПУ одной из станций в Республике Татарстан, которая организована по следующей схеме: механическая фильтрация на сетчатых фильтрах грубой очистки, очистка от взвешенных веществ методом коагулирования (в качестве коагулянтов чаще используют соединения алюминия), очистка осветленной воды на микрофильтрационной установке, первая ступень обессоливания на установке обратного осмоса, декарбонизация, вторая ступень обессоливания с применением фильтров Н и ОН- ионирования.

Первая ступень обессоливания была спроектирована с включением автоматизированного обратноосмотического блока «Шарья П – 7000». С учетом производительности станции и по расчетным характеристикам производительности ВПУ для обеспечения бесперебойной работы установки необходимо 6 модулей, которые соединены параллельно. По результатам расчетных значений необходимо, чтобы каждый модуль состоял из 12 корпусов, из которых 8 будет направлено на процесс обессоливания, а оставшиеся четыре – доочистки концентрата для уменьшения расхода воды на собственные нужды. Один корпус состоит из шести последовательно соединенных между собой рулонных обратноосмотических элементов. Для обеспечения надежной работы необходимо выбирать мембраны, которые обладают селективностью на уровне 99,5%. В результате мембранного разделения образуются пермеат и концентрат.

Учитывая, что качество природной воды меняется в течение года (по сезонам), то нередко мембраны забиваются загрязнениями и в результате происходит увеличение давления на входе. Стоит помнить, что превышение давления более чем на 15% от первоначального является веской причиной для отключения блока на промывку. Увеличение давления свидетельствует

об образовании твердых отложений на поверхности мембраны. Для удаления отложений возможно использование гидропромывок, в случае неэффективности осуществляют химическую промывку с применением растворов агрессивных химических веществ. Количество химических промывок ограничено и в среднем их количество достигает 4-6 раз в год.

Для проведения анализа эффективности использования системы обратного осмоса существуют нормы показателей качества осветленной воды, поступающей на блок обратного осмоса и пермеата, представленные в таблицах № 1–2.

Таблица № 1

Требования к качеству осветлённой воды, поступающей на установку
обратного осмоса

Показатель качества	Значение
Взвешенные вещества, мг/дм ³	менее 1
Нефтепродукты, мг/дм ³	менее 0,1
Железо общее, мг/дм ³	менее 0,6
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	менее 15
Коллоидный индекс (SDI), единицы	менее 5

Таблица № 2

Требования к качеству пермеата

Показатель качества	Значение
Жесткость общая, мкг-экв/дм ³	10-30
Щелочность, мкг-экв/дм ³	20-50
Железо общее, мг/дм ³	менее 0,03
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	менее 0,5
Ионы натрия, мкг/дм ³	-

С помощью оценки показателей качества воды на входе на установку обратного осмоса и полученного пермеата можно определить эффективность работы установки предварительной очистки от взвешенных частиц (ультрафильтрация). Эти данные позволяют получить сведения о работе

установки в разные сезоны с различной нагрузкой. Накопленные знания позволят судить о приемлемости подачи получаемого на установке ультрафильтрации фильтрата на модули обратного осмоса и оценки технико-экономических параметров работы установки обратного осмоса [11]. Учитывая, что применяемый блок «Шарья П – 7000» является автоматизированным, оценка эффективности проводилась круглосуточно с заявленной периодичностью согласно техническим условиям по рекомендации производителя. Учитывая, что ежедневно было получено более 20 значений по каждому контролируемому параметру в зависимости от его характера, для оптимизации и простоты чтения значения в таблице приведены средние за месяц. Результаты эксперимента по качеству воды на входе в установку обратного осмоса и пермеата представлены в таблицах № 3–4.

Таблица № 3

Качество воды на входе на установку обратного осмоса по месяцам за 2023
год

Показатели	2023 год											Ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Ж _{общ} мг-экв/дм ³	3,82	3,88	4,16	3,44	2,57	3,19	3,93	3,83	3,54	3	3,11	3,497
Щ _{общ} мг-экв/дм ³	1,7	1,6	1,7	1,3	1,7	2,4	1,9	2,1	2,3	1,9	2,1	1,9
Щ _{фф} мг-экв/дм ³	0	0	0	0	0	0,07	0,01	0,04	0,03	0	0	0,014
SiO ₂ мг/дм ³	6,5	6,7	7,3	7,2	8,4	9	5,5	6,4	6	5,0	5,6	6,7
Пер. окисляем. мгО ² /дм ³	4,72	4,05	3,57	3,38	8,34	12,83	9,87	7,68	7,73	6,38	6,59	6,831
Cl мг/дм ³	47,2	49,3	54	54	21	10,8	24,5	21,3	13,4	11,5	11	28,9
SO ₄ мг/дм ³	54,2	38,5	48	19,6	18,3	22,9	75	87	67,4	52,5	57,3	49,2
Взв. в-ва мг/дм ³	0,29	0,48	0,47	0,59	0,31	0,24	0,2	0,35	0,28	0,28	0,27	0,342
Fe мкг/дм ³	79,47	79,25	85,45	31,28	134	246	109	109	104,6	72,3	101	104,668
Al мкг/дм ³	98,73	75,94	69,09	77	92,8	94,25	191	99	34,8	29	13	79,510
pH ед.	7,49	7,47	7,44	7,22	7,71	8,13	7,65	7,92	8,01	7,96	7,94	7,722
Солесод. мг/дм ³	109	198,56	211,64	173,49	133,5	179	227,1	219,8	206	176	183	183,372

Таблица № 4

Качество пермеата по месяцам за 2023 год

Показатели	2023 год											Ср. год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Ж _{общ} мг-ЭКВ/дм ³	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	26,5	0,024	0,022	0,2	0,023	0,013	2,452
Щ _{общ} мг-ЭКВ/дм ³	0,04 1	0,016	0,021	0,033	0,037	0,052	41,75	0,049	0,005	0,043	0,041	3,826
Щ _{фф} мг-ЭКВ/дм ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
SiO ₂ мг/дм ³	214	196	192	129	280	410	239	195,5	139,6	184	138	210,645
Пер. оксилям. мгО ² /дм ³	0,19	0,22	0,16	0,25	0,21	0,2	0,22	0,12	0,18	0,22	0,24	0,201
Cl мг/дм ³	1,42	0,91	0,7	0,47	0,3	0,23	0,47	0,25	0,16	0,36	0,18	0,495
SO ₄ мг/дм ³	3,25	1,24	1,01	0,69	0,52	1,14	1,78	3,43	1,68	1,08	1,29	1,555
Взв. в-ва мг/дм ³	0,26	0,54	0,4	0,61	0,43	0,28	0,4	0,35	0,52	0,28	0,33	0,400
Fe мкг/дм ³	16	9,5	6,38	1,23	6,76	7,4	3,33	4,95	4,48	2,88	4,47	6,125
Al мкг/дм ³	27,2	14,3	48,3	10,35	48,2	63,75	30,25	28,5	9,4	15,75	4,94	27,358
pH ед.	6,49	6,43	6,28	6,11	6,76	7,12	6,59	6,71	6,8	6,96	6,93	6,653
Солесод. мг/дм ³	6,22	11,89	11,54	10,74	8	7,6	9,1	9,1	7,61	11,36	5,32	8,953

Исходя из результатов эксперимента можно сделать выводы, что селективность мембран по концентрации железа, кремнекислоты, натрия, удельной электропроводности не снизилась с момента начала исследования. Концентрация веществ в пермеате прямо пропорциональна концентрации этих веществ в воде, которая поступает на блок обратного осмоса. Поэтому сезонные изменения несущественно сказываются на работе блока обратного осмоса. Нормализованный проскок солей остался без изменений с начала исследования.

Литература

1. Федотов С.О., Филенков В.М. Существующие методы водоподготовки на ТЭС // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 10–2. С. 147–149.

2. Васильева Е.В., Харлампов С.А. Сравнительный анализ эффективности различных методов мембранной фильтрации // Журнал прикладной механики и технической физики. 2015. Т. 56. № 3. С. 369–375.
 3. Осадчий Ю.П. Повышение эффективности процессов разделения стоков на компоненты предприятий химической и текстильной отраслей промышленности с применением полимерных мембран: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.17.08. Иваново, 2017. 32 с.
 4. Липин А.Г. Мембранные процессы: учебное пособие. Иваново: ИГХТУ. 2019. 88 с.
 5. Гафуров Н.М., Кувшинов Н.Е. Перспективы использования мембранной технологии очистки воды на тепловых электростанциях // Инновационная наука. 2016. № 4–3(16). С. 66–68.
 6. Орлов В.Л., Петров В.Д., Гриценко В.А. Использование мембранных технологий в системах водоочистки: учебное пособие. М: Издательство МГСУ. 2012. 156 с.
 7. Гирфанов А.А., Филимонов А.Г., Шаммасова Т.Д. Реализация мембранной технологии водоподготовки на Казанской ТЭЦ-2 // Энергетика Татарстана. 2012. № 3(27). С. 14–18.
 8. Greenlee L.F., Lawler D.F., Freeman B.D., Marrot V., Moulin Ph. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges // Water research. 2009. No. 43. P. 2317–2348.
 9. Zularisam A.W., Ismail A.F., Salin R. Behaviors of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment – a review // Desalination. 2006. Vol. 194. P. 211–231.
 10. Чугунов А.С., Винницкий В.А. Инженерное обеспечение применения ионообменных волокон в «мокрых» технологиях. Мембранная фильтрация // Известия СПбГТИ (ТУ). 2023. №64(90). С. 88–95.
-

11. Мамет А.П., Ситняковский Ю.А. Сравнение экономичности ионитного и обратноосмотического обессоливания воды // Электрические станции. 2002. № 6. С.63–66.

References

1. Fedotov S.O., Filenkov V.M. Novaja nauka: Teoreticheskij i prakticheskij vzgljad. 2016. № 10–2. pp. 147–149.

2. Vasil'eva E.V., Harlampov S.A. Zhurnal prikladnoj mehaniki i tehnicheckoj fiziki. 2015. T. 56. № 3. pp. 369–375.

3. Osadchij Ju.P. Povyshenie jeffektivnosti processov razdelenija stokov na komponenty predpriyatij himicheskoy i tekstil'noj otraslej promyshlennosti s primeneniem polimernyh membrane. [Improving the efficiency of wastewater separation processes into components of chemical and textile industries using polymer membranes]: avtoref. dis. ... dok. tehn. nauk: 05.17.08. Ivanovo, 2017. 32 p.

4. Lipin A.G. Membrannye processy: uchebnoe posobie. [Membrane processes: a textbook]. Ivanovo: IGHTU. 2019. 88 p.

5. Gafurov N.M., Kuvshinov N.E. Innovacionnaja nauka. 2016. № 4–3(16). pp. 66–68.

6. Orlov V.L., Petrov V.D., Gricenko V.A. Ispol'zovanie membrannyh tehnologij v sistemah vodoochistki: uchebnoe posobie. [The use of membrane technologies in water treatment systems: a textbook]. M: Izdatel'stvo MGSU. 2012. 156 p.

7. Girfanov A.A., Filimonov A.G., Shammassova T.D. Jenergetika Tatarstana. 2012. № 3(27). pp. 14–18.

8. Greenlee L.F., Lawler D.F., Freeman B.D., Marrot B., Moulin Ph. Water research. 2009. No. 43. pp. 2317–2348.

9. Zularisam A.W., Ismail A.F., Salin R. Desalination. 2006. Vol. 194. pp. 211–231.



10. Chugunov A.S., Vinnickij V.A. // Izvestija SPbGTI (TU). 2023. №64 (90). pp. 88–95.

11. Mamet A.P., Sitnjakovskij Ju.A. Jelektricheskie stancii. 2002. № 6. pp.63–66.

Дата поступления: 29.03.2024

Дата публикации: 8.05.2024