



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)  
УДК628.16

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.022

 EDN: WAVKKG

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Артем Александрович Кандрушин <sup>1</sup>, Лариса Федоровна Комарова <sup>2</sup>,  
Владимир Александрович Сомин <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> akandrushin.main@gmail.com

<sup>2</sup> htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

<sup>3</sup> vladimir\_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

**Аннотация.** Разработка эффективной системы водоподготовки на ТЭЦ основана на реализации обработки воды в несколько ступеней, на первой осуществляется удаление взвесей и коллоидных примесей, частичная дезинфекция и обесцвечивание. На второй ступени происходит более тонкая очистка от растворенных примесей мембранными, ионообменными, методами, магнитной обработкой и другими. Выбор конкретного метода водоподготовки основывается на специфике производства и предъявляемым к нему требованиям.

Рассматривается схема обессоливания котловой воды коксохимического предприятия, где в настоящее время используется ионный обмен. На стадии предварительной очистки вода осветляется с применением коагулянта и известкового молока, после чего фильтруется через угольные фильтры. Далее вода подается на установку обессоливания ионным обменом на Н-катионитовые и ОН-анионитовые фильтры, между которыми расположен декарбонизатор для удаления углекислого газа.

Предложено заменить первую ступень ионообменных фильтров на мембранную установку нанофильтрации, которая позволит выводить из воды растворенную углекислоту, как следствие – исключить из схемы декарбонизатор. Использование нанофильтрации с последующей доочисткой ионным обменом увеличивает фильтроцикл ионного обмена второй ступени, что сокращает расход реагентов на регенерацию ионита, количество промывных вод и уменьшает затраты на реагентное хозяйство.

**Ключевые слова:** технология водоподготовки на предприятиях теплоэнергетики, мембранная нанофильтрация, комбинированная мембранно-ионообменная установка.

---

**Для цитирования:** Кандрушин А. А., Комарова Л. Ф., Сомин В. А. Совершенствование технологии водоподготовки на тепловых электростанциях // Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 186–190. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/WAVKKG>.

---

Original article

## IMPROVEMENT OF WATER TREATMENT TECHNOLOGY IN THERMAL POWER PLANTS

Artyom A. Kandrushin <sup>1</sup>, Larisa F. Komarova <sup>2</sup>, Vladimir A. Somin <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> akandrushin.main@gmail.com

<sup>2</sup> htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

<sup>3</sup> vladimir\_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

---

© Кандрушин А. А., Комарова Л. Ф., Сомин В. А., 2024

**Abstract.** *The development of an effective water treatment system at a CHP plant is based on the implementation of water treatment in several stages, the first stage is the removal of suspensions and colloidal impurities, partial disinfection and discoloration. At the second stage, a more subtle purification from dissolved impurities occurs by membrane, ion exchange, methods, magnetic treatment and others. The choice of a specific pre-preparation method is based on the specifics of production and the requirements imposed on it.*

*The scheme of desalination of boiler water of a coke-chemical enterprise, where ion exchange is currently used, is considered. At the pre-purification stage, the water is clarified using coagulant and lime milk, after which it is filtered through carbon filters. Next, the water is supplied to the desalination plant by ion exchange to N-cationite and OH-anionite filters, between which a decarbonizer is located to remove carbon dioxide.*

*It is proposed to replace the first stage of ion exchange filters with a membrane nanofiltration unit, which will allow the removal of dissolved carbon dioxide from the water, as a consequence, to exclude the decarbonizer from the scheme. The use of nanofiltration followed by ion exchange aftertreatment increases the ion exchange filter cycle of the second stage, which reduces the consumption of reagents for ionite regeneration, the amount of washing water and reduces the cost of reagent farming.*

**Keywords:** *water treatment technology at thermal power plants, membrane nanofiltration, combined membrane ion exchange plant.*

**For citation:** Kandrushin, A.A., Komarova, L.F. & Somin, V.A. (2024). Improvement of water treatment technology in thermal power plants. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 186-190. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/WAVKKG>.

## ВВЕДЕНИЕ

Водоподготовка для ТЭЦ подразумевает несколько ступеней обработки, первой из которых является предочистка, обеспечивающая удаление взвешенных и коллоидных примесей, частичную дезинфекцию и обесцвечивание. Чем эффективнее предочистка, тем меньше ресурсов необходимо на следующих этапах обработки воды. Предварительная очистка индивидуальна для каждого предприятия и зависит прежде всего от происхождения исходной воды и ее состава. Используются в основном методы отстаивания и фильтрования в сочетании с коагуляцией-флокуляцией и флотацией.

Вторая ступень очистки – тонкая. Она позволяет улучшить теплопроводность воды в результате исчезновения накипи на внутренних стенках труб и отопительного оборудования, добиться более долгосрочной эксплуатации оборудования ввиду уменьшения коррозии. В настоящее время предприятия теплоэнергетики в качестве тонкой очистки используют ионный обмен, мембранные методы, магнитную обработку и некоторые другие.

Наиболее распространенным до сих пор является ионный обмен, позволяющий получить глубоко обессоленную воду. Однако технологические схемы ионного обмена громоздки, процесс связан с регенерацией ионообменных смол, что требует большого объема кислых и щелочных регенерационных растворов и сложного реагентного хозяйства. Кроме того, при нейтрализации стоков обра-

зуются концентрированные отходы. Всё указанное приводит к высоким капитальным и эксплуатационным затратам.

Магнитная обработка представляет собой воздействие на воду постоянным магнитным полем, при котором растворенные в воде ионы кальция, магния, кремния теряют способность к солеобразованию (накипи), а уже существующие на поверхностях отложения разрыхляются и легко удаляются. Однако метод до сих пор не нашел широкого распространения из-за использования магнитов высокой мощности и ослабления свойств их элементов, изготовленных на основе редкоземельных химических элементов (например, неодим). Со временем на поверхности труб образуется защитная оксидная пленка, которая защищает от коррозии. Магнитная обработка воды является перспективным направлением в водоподготовке, но до сих пор не получила широкого распространения [1].

В XX веке начал набирать популярность метод обессоливания воды по принципу обратного осмоса, который заключается в продавливании растворителя (воды) под давлением через полупроницаемую перегородку (мембрану). Но из-за технических сложностей данный метод не получил быстрого развития, уступив место ионообменной фильтрации [2].

Основным методом, используемым в настоящее время для обессоливания воды на предприятиях теплоэнергетики, является ионный обмен, который обеспечивает получение глубоко обессоленной воды. Однако ужесточение экологических требований к сто-

кам водоподготовительных установок, с одной стороны, ухудшение качества обрабатываемой воды – с другой, а также удорожание ионитов и реагентов, высокие эксплуатационные затраты привели к необходимости совершенствования традиционных технологий [3].

Наиболее перспективными технологиями обработки вод невысокой минерализации с повышенным содержанием органических примесей оказались противоточное ионирование и обессоливание на основе мембранных методов, которые в последнее время получили достаточно широкое развитие.

Применение ультрафильтрационной обработки воды позволяет не только извлечь механические примеси, но и удалить значительное количество органики (до 60 %), а также кремневую кислоту. Использование обратного осмоса дает возможность извлекать на одной ступени очистки до (96–98) % солей, что близко к эффективности ступени ионного обмена. Применение указанных методов дает возможность создать почти безреагентную систему водоподготовки. Дальнейшее доведение качества воды до нормативов котловой производится ионообменным или электродиализным методами [4].

Комбинированная мембранно-ионообменная установка работает следующим образом. После деаэрации исходная вода проходит механический фильтр, затем в нее вводятся реагенты, она выдерживается в буферной емкости и поступает на модуль фильтрации, где происходит ее разделение на пермеат и концентрат, который выводится в дренаж. Пермеат насосом высокого давления подается на модуль обратного осмоса, в котором и происходит выделение из воды основной массы растворенных солей. Частично обессоленный пермеат после декарбонизации поступает для доочистки на ионообменную установку. Обратный осмос может осуществляться в одну или две ступени.

Комбинированные мембранно-ионообменные схемы имеют высокую степень экономической эффективности и надежности, рекомендуются при реконструкции существующих водоподготовительных установок, работающих на базе ионообменных фильтров. При этом значительно уменьшается количество регенерационных растворов для катионитов и анионитов, чем при чисто ионообменной схеме, возможно их разбавление концентратом мембранных установок [4]. Снижается количество промывных вод, затраты, связанные с реагентным хозяйством.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На существующей схеме обессоливания котловой воды на АО «Алтай-Кокс» используется ионный обмен. Вода проходит предварительную очистку путем осветления с предварительной подачей коагулянта и известкового молока, фильтрования на механическом фильтре, загруженном гидроантрацитом. Далее вода проходит фильтр обезмасливания, заполненный кокосовым орехом.

Осветленная вода поступает на установку обессоливания ионным обменом в две ступени на Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтрах, между которыми расположен декарбонизатор для удаления углекислого газа.

Как показывает практика, значительная доля причин, вызывающих ненадежную и малоэффективную работу котельного оборудования и трубопроводов тепловых сетей, лежит в области водоподготовки и водных химических режимов. Необходимо искать пути повышения эффективности очистки воды от различных примесей, в том числе использование новых технологических процессов.

Предложено усовершенствование существующей схемы путем замены ионитовых фильтров первой ступени на нанофильтрационные. Осветленная вода поступает на установку обессоливания, состоящую из «цепочки» нанофильтрационных и ионообменных фильтров. Первая стадия обработки происходит на нанофильтрационной установке с мембранными модулями CSMNE 8040-90 [6].

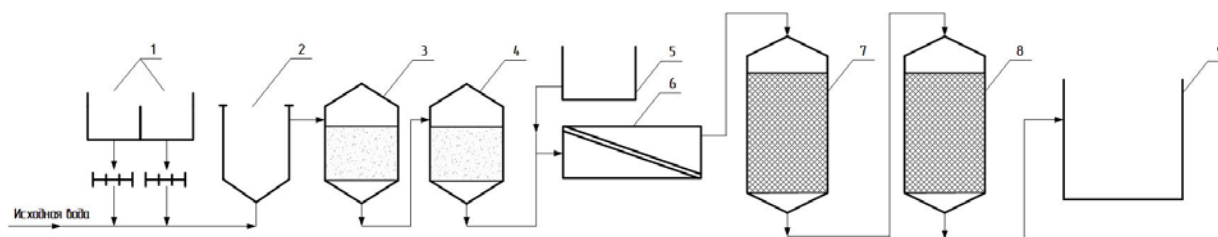
Для извлечения растворенных ионов солей из подземных вод с невысокой их концентрацией лучше использовать нанофильтрацию, а не обратный осмос, при этом рабочее давление не превышает 20 атм., что позволяет проводить процесс в энергосберегающем режиме, а новые типы композитных мембран – обеспечивать высокую проницаемость [5].

Расчет количества таких модулей произведен по [7], для водоподготовки производительностью 276 м<sup>3</sup>/ч оно составит 550, а число аппаратов – 92.

Для предотвращения отложений различной природы и снижения концентрационной поляризации у поверхности мембран в исходный раствор дозируется антискалант, в качестве которого выбран AQUALIGHT1 [8]. Он состоит из органических и минеральных кислот и специальных диспергаторов. Определена доза и расход антискаланта за год.

Технологическая схема водоподготовки на ТЭЦ АО «Алтай-Кокс» после модернизации приведена на рисунке 1.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ



1 – баки растворов коагулянта и извести; 2 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 3 – напорный механический фильтр; 4 – фильтр обезмасливания; 5 – бак раствора антискаланта; 6 – нанофильтрационная установка; 7 – Н-катионитовый фильтр II ступени; 8 – ОН-анионитовый фильтр II ступени; 9 – емкость обессоленной воды

Рисунок 1 – Технологическая схема водоподготовки на ТЭЦ АО «Алтай-Кокс» после модернизации

1 - tanks of coagulant and lime solutions, 2 - clarifier with a layer of suspended sediment, 3 - pressure mechanical filter, 4 - deoiling filter, 5 - tank of antiscalant solution, 6 - nanofiltration unit, 7 - N-cationite filter of the II stage, 8 - OH-anionite filter of the II stage, 9 - desalinated tank water

Figure 1 – Technological scheme of water treatment at the CHP of Altai-Koks JSC after modernization

В исходную воду из баков 1 дозируются растворы соответственно коагулянта и извести, далее она поступает в осветлитель со слоем взвешенного осадка 2 для удаления труднооседающих примесей. Мелкодисперсные взвеси извлекаются на напорном механическом фильтре 3, всплывающие – на фильтре обезмасливания 4.

Промывка обоих фильтров осуществляется отстоенной в осветлителе водой. Отмывочные воды после механического фильтра собираются в баки и возвращаются в трубопровод исходной воды осветлителя. Промывные воды фильтра обезмасливания поступают в систему шламового хозяйства предприятия.

Далее профильтрованная вода направляется на мембранную установку нанофильтрации 6 с элементами рулонного типа, предварительно в воду добавляется антискалант из бака 5.

После мембранного обессоливания пермеат проходит вторую ступень ионного обмена на Н-катионитовом фильтре 7, который служит для поглощения остаточных катионов жесткости, и ОН-анионитовом фильтре 8, на котором улавливаются анионы слабых кислот, обессоленная вода накапливается в емкости 9. Регенерация катионитовых фильтров осуществляется раствором серной кислоты, анионитовых – раствором щелочи.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе водоподготовки на ТЭЦ предложена замена первой стадии ионного обмена на установку нанофильтрации, которая позволит частично обессолить исходную воду с удалением растворенной углекислоты, что исключает из технологической схемы декарбонизатор.

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2024

Фильтроцикл ионного обмена второй ступени увеличится, при этом уменьшаются расход реагентов на регенерацию ионов, количество промывных вод и расходы, связанные с реагентным хозяйством.

Реализация указанных мероприятий позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магнитная очистка воды // Система очистки воды для дома. URL: [https://sistemyochistkivody.ru/magnitnaya-obrabotka\\_vodyi.html](https://sistemyochistkivody.ru/magnitnaya-obrabotka_vodyi.html) - (дата обращения 02.04.2023).
2. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М.: Изд-во Дели плюс, 2013. 680 с.
3. Ларин Б.М., Коротков А.М., Опарин М.Ю. [и др.]. Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС // Теплоэнергетика. 2010. № 8. С 8–13.
4. Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Жадан А.В. Проектные решения водоподготовительных установок на основе мембранных технологий [Очистные сооружения на основе мембранных методов]. Теплоэнергетика. 2012. №7, С. 30–36.
5. Комарова Л.Ф., Сомин В.А. Инженерные методы защиты гидросферы. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2020. 281с.
6. Мембрана CSMNE 8040-90 [Электронный ресурс]; оф. сайт: WaterfilterURL: [https://waterfilter.ru/catalog/membrane\\_CSM\\_ne\\_8040\\_90](https://waterfilter.ru/catalog/membrane_CSM_ne_8040_90) (дата обращения 04.06.2023).
7. Свитцов А.А. Основы проектирования производств, использующих мембранное разделение. Москва: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. 219 с.
8. Антискаланты [Электронный ресурс]: ООО «НПО АКВАТЕХ». Производство оборудования водоподготовки. Установки обратного осмоса. URL: [https://sib\\_filtr/ru/p\\_21197849-antiskalant-dlya-obratnogo.html](https://sib_filtr/ru/p_21197849-antiskalant-dlya-obratnogo.html) (дата обращения 14.06.2023).

189

### **Информация об авторах**

*Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*В. А. Сомин – доктор технических наук, зав. кафедрой химической техники инженерной экологии института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*А. А. Кандрушин – студент гр. 8ЭРПХ-01 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

### **REFERENCES**

1. Magnetic water purification (2023). Water Purification System for Home Retrieved from: [https://sistemyochistKivody.ru/magnitnaya-obrabotka\\_vodyi.html](https://sistemyochistKivody.ru/magnitnaya-obrabotka_vodyi.html). (In Russ.).
2. Ryabchikov, B.E. (2013). Modernwater supply. M. : publishing house of Delhi plus. (In Russ.).
3. Larin, B.M., Korotkov, A.M., Oparin, M.Yu. & etc. (2010). Experience in the development of new technologies for water treatment at thermal power plants. *Теплоэнергетика*. (8). 8-13. (In Russ.).
4. Panteleev, A.A., Ryabchikov, B.E. & Zhadan, A.V. (2012). Design solutions for water treatment plants based on membrane technologies

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 15 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 05 марта 2024.*

*The article was received by the editorial board on 15 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 05 Mar 2024.*

[Treatment facilities based on membrane methods]. *Thermal power Engineering*. (7), 30-36. (In Russ.).

5. Komarova, L.F. & Somin, V.A. (2020). Engineering methods of hydrosphere protection. Barnaul: publishing house of AltSTU. (In Russ.).

6. Membrane CSM NE 8040-90 (2023). [electronic resource]: of. The Waterfilter website Retrieved from : [https://water-filter.ru/catalog/membrane\\_CSM\\_ne\\_8040\\_90](https://water-filter.ru/catalog/membrane_CSM_ne_8040_90). (In Russ.).

7. Swittsov, A.A. (2013). Fundamentals of designing industries using membrane separation. Moscow : Publishing House of the D.I. Mendeleev Russian Technical University. (In Russ.).

8. Anti-scalants. (2023). NPO AQUATECH LLC. Production of water treatment equipment. Reverse osmosis installations. Retrieved from [https://sib\\_filtr/en/p21197849-antiskalant-dlya-obratnogo.html](https://sib_filtr/en/p21197849-antiskalant-dlya-obratnogo.html). (In Russ.).

### **Information about the authors**

*L.F. Komarova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Environmental Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.*

*V.A. Somin - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemical Engineering of Engineering Ecology and the Institute of Biotechnologies, Food and Chemical Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.*

*A.A. Kandrushin - student gr. 8ERPH-01, Polzunov Altai State Technical University.*