

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ

Обзор

Романова Л.Н.^{1,*}¹ Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ludmila.romanova98[at]yandex.ru)

Аннотация

В работе приведен обзор методов и технологий водоподготовки для теплогенерирующих установок. Выделяют предварительную или докотловую обработку и внутрикотловую обработку. К методам предварительной обработки воды относят отстаивание, мембранную очистку (микро-, ультра-, нанофильтрация и обратный осмос), коагуляцию, реагентное умягчение (известкование, содоизвесткование) и ионный обмен (натрий-катионирование, водород-катионирование и др.). Все эти методы применяются для снижения уровня жесткости воды и удаления из нее различных примесей. К методам внутрикотловой обработки относят продувку, необходимую для поддержания определенной концентрации солей, и деаэрацию, применяемую для удаления приводящих к коррозии веществ. Использование определенных технологий водоподготовки зависит от состава исходных вод и применяемого оборудования. Предварительная водоподготовка вместе с внутрикотловой обработкой воды способствуют поддержанию оптимальной работы теплогенерирующих установок, а также созданию хорошего качества воды, увеличивающей срок эксплуатации установок.

Ключевые слова: водоподготовка, теплогенерирующие установки, методы обработки воды, докотловая обработка, внутрикотловая обработка.

THE CURRENT STATUS OF WATER TREATMENT SYSTEMS

Review article

Romanova L.N.^{1,*}¹ Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation

* Corresponding author (ludmila.romanova98[at]yandex.ru)

Abstract

The work gives an overview of methods and technologies of water treatment for heat-generating plants. Pre-treatment or pre-boiler treatment and in-boiler treatment are distinguished. Methods of water pre-treatment include sedimentation, membrane treatment (micro-, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis), coagulation, reagent softening (lime treatment, soda-lime treatment) and ion exchange (sodium cationization, hydrogen cationization, etc.). All these methods are used to reduce water hardness and remove various contaminants from the water. In-boiler treatment methods include blowdown, which is necessary to maintain a certain concentration of salts, and deaeration, which is used to remove corrosive substances. The use of certain water treatment technologies depends on the composition of raw water and the equipment used. Pre-treatment together with in-boiler water treatment contributes to maintaining optimum operation of heat generating plants as well as creating good water quality, which increases the service life of the plants.

Keywords: water treatment, heat generating plants, water treatment methods, pre-boiler treatment, in-boiler treatment.

Введение

На сегодняшний день вода – это основной природный ресурс, жизненно важный как для растений и животных, так и для человека и его деятельности. Вода используется в работе большинства отраслей промышленности: это и теплоэнергетика, и машиностроение, и металлургия, а также многие другие немаловажные отрасли [1].

В последнее время все больше и больше увеличиваются потребности в воде для отраслей энергетики и теплотехники. Но в то же время недопустимо прямое использование воды в теплогенерирующих установках, представляющих собой технические устройства и оборудование, необходимых для генерации тепловой энергии в виде горячей воды или пара. Это связано с тем, что природная вода характеризуется наличием большого количества примесей минерального и органического происхождения, от которых она должна быть очищенной. В связи с чем для теплогенерирующих установок необходима предварительная специальная водоподготовка, являющаяся эффективным способом не только увеличения производительности системы, но и продления срока службы оборудования [2].

Целью данной работы является обзор методов и технологий водоподготовки для теплогенерирующих установок.

Методы водоподготовки теплогенерирующих установок подразделяют на два типа: докотловая или предварительная обработка и внутрикотловая обработка, применяемая для предотвращения накипеобразования и коррозии [3].

Методы докотловой обработки воды

К методам предварительной обработки воды относят отстаивание, мембранную очистку, коагуляцию, реагентное умягчение и ионный обмен.

Отстаивание природной воды проводят в специальных отстойниках, представляющих собой резервуары, в которых из воды удаляются механические примеси [4].

Далее для очищения воды используют мембранные технологии, разновидности и характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Виды и характеристики мембранной очистки воды

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49.1>

Технология	Диаметр пор мембраны, мкм	Размер задерживаемых частиц, мкм	Рабочее давление, МПа	Производительность, кг/м ² ·ч
Микрофльтрация	10-0,05	0,02-10	0,01-0,1	100
Ультрафльтрация	0,01-0,02	0,001-0,02	0,2-1	10-50
Нанофльтрация	0,001-0,01	0,001-0,01	6-8	10-50
Обратный осмос	0,001-0,0001	0,0001-0,001	-	0,5-100

Микрофльтрация используется не только при удалении органических молекул, имеющих молекулярную массу более 10 кДа, но и при очистке от механических примесей воды.

С помощью метода ультрафльтрации из воды удаляют органические молекулы, обладающих молекулярной массой равной 0,2-0,3 кДа.

Ультрафльтрационные и микрофльтрационные установки занимают меньшую площадь в сравнении с обычными фльтрационными системами. Кроме того, у данных установок ниже эксплуатационные расходы.

Нанофльтрацию применяют для очищения воды от органических молекул, имеющих молекулярную массу более 0,3 кДа. Данный метод используется для снижения возникновения накипи, ухудшающей эффективность работы системы.

Обратный осмос применяют при устранении из воды органических молекул, имеющих молекулярный вес более 0,1 кДа. В целом обратноосмотические мембраны задерживают порядка 99 % растворенных в воде веществ. При этом удаляются ионы натрия (Na^+), кальция (Ca^{2+}), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}), алюминия (Al^{3+}), хлора (Cl^-). В результате получают умягченную воду, способствующей стабильной работе теплогенерирующих установок.

В результате на водоподготовительных установках в настоящее время преимущественно используют метод обратного осмоса [5], [6].

Коагуляция – это процесс укрупнения коллоидных частиц и выделение их в осадок (шлама) при добавке к воде специальных веществ-коагулянтов, например, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ [3].

Среди способов реагентного умягчения воды выделяют известкование и содоизвесткование. Суть этих методов заключается в том, что накипеобразующие катионы в результате химического взаимодействия с известью (CaO) или содой (NaHCO_3) образуют новые соединения, которые устраняют с помощью отстаивания или фльтрации [7].

В настоящее время главным способом удаления солей жесткости из воды для теплогенерирующих систем служит ионный обмен. Сущность ионного обмена заключается в способности особых веществ, называемых ионитами, вступать в ионный обмен с растворимыми в воде солями жесткости, при этом происходит сорбция из воды ионов этих солей и отдача в воду равного количества других ионов. Среди методов ионного обмена особенно популярными считаются натрий-катионирование, водород-катионирование, натрий-водород-катионирование [8].

Натрий-катионирование основано на замещении ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}) на ионы натрия (Na^+) из ионообменных материалов. Данный метод может осуществляться как в одну, так и в две ступени.

Технология натрий-катионирования в одну ступень: вода проходит через слой катионита, умягчается и направляется в накопительный бак, из этого бака она подается в необходимое место.

Технология натрий-катионирования в две ступени: соли жесткости задерживаются на фльтрах первой ступени, при этом на второй ступени происходит снижение остаточной жесткости [9].

Водород-катионирование основано на том, что все катионы в воде заменяются катионами водорода, а присутствующие в растворе сульфаты, хлориды и нитраты кальция, натрия и других катионов преобразуются в свободные минеральные кислоты (серную, соляную, азотную, кремниевую). При использовании данной технологии снижается карбонатная щелочность воды без образования кислотного фльтра. Водород-катионирование используют с натрий-катионированием, благодаря чему происходит нейтрализация кислотности и снижение щелочности воды [10].

Водород-натрий-катионирование основано в смешивании двух потоков воды: кислой и щелочной. Благодаря использованию этого метода можно получить умягченную воду с заданной величиной щелочности. Данная технология может осуществляться по схемам параллельного, последовательного и совместного катионирования [11].

Различные схемы водоочистки методом ионного обмена представлены на рисунке 1 [5], [12].

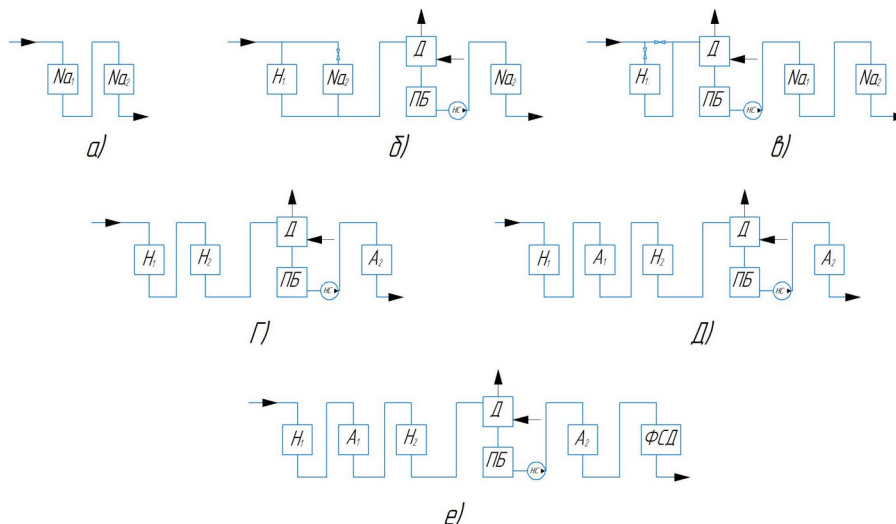


Рисунок 1 - Схемы водоочистки методом ионного обмена:

a – двухступенчатое натрий-катионирование; *б* – параллельное водород-натрий-катионирование; *в* – последовательное водород-натрий-катионирование; *г* – частичное обессоливание; *д* – глубокое обессоливание; *е* – полное обессоливание;

Na – натрий-катионитный фильтр; *H* – водород-катионитный фильтр; *A* – анионитный фильтр; *Д* – декарбонизатор;

ПБ – промежуточный бак; *НС* – насос; *ФСД* – фильтр смешанного действия

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49.2>

Методы внутрикотловой обработки воды

К методам внутрикотловой обработки воды относят продувку и деаэрацию. Эти способы используются для стабилизации минерального состава воды [13].

Продувка основывается на устранении из барабана системы воды, обладающей высокой степенью солесодержания, и замещением ее водой, обладающей низким солесодержанием. Схема продувки показана на рисунке 2.

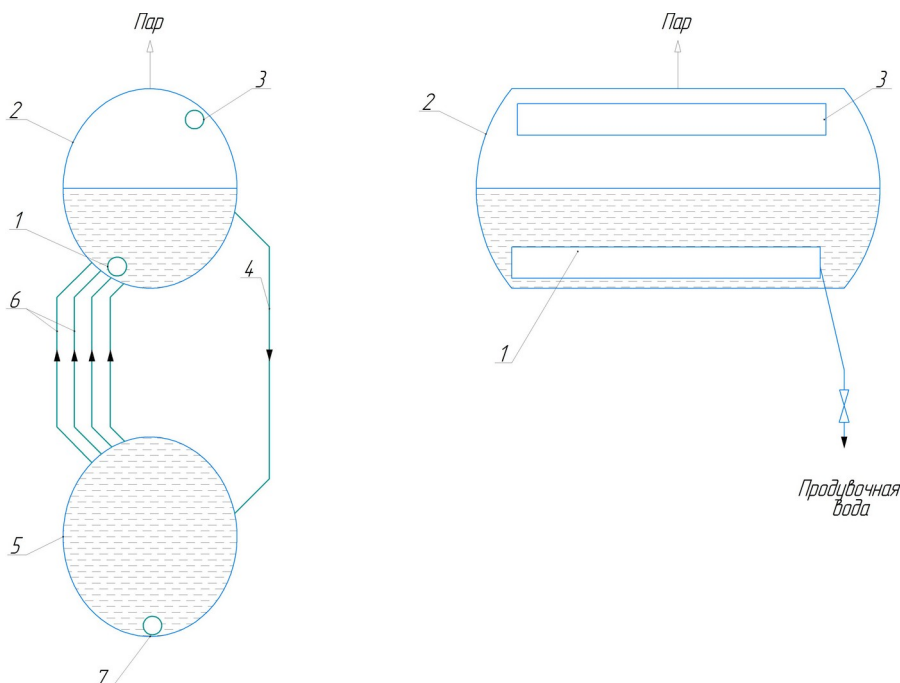


Рисунок 2 - Схема продувки:

1 – труба для отвода продувочной воды; *2* – верхний барабан; *3* – труба для подвода питательной воды; *4* – опускная труба; *5* – нижний барабан; *6* – подъемные трубы; *7* – труба отвода шлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49.3>

Питательная вода подается в барабан по трубе в верхней части барабана. В свою очередь труба в нижней части барабана служит местом сбора и отвода продувочной воды.

В целом продувку используют при устранении шлама, накапливающегося в нижних коллекторах и барабанах установки [3], [14].

Деаэрация воды применяется для удаления из воды веществ, приводящих к коррозии (O_2 , CO_2).

Выделяют три вида аэрации:

- Химическая: добавление в воду сульфита натрия для удаления кислорода;
- Каталитическая: удаление из воды коррозионных веществ при помощи водорода;
- Термическая: главный способ удаления коррозионных веществ из воды, основанный на применении закона растворимости газов в жидкости.

Для устранения веществ из воды в теплогенерирующих установках используют термические деаэраторы [15].

Схема деаэраторной установки показана на рисунке 3.

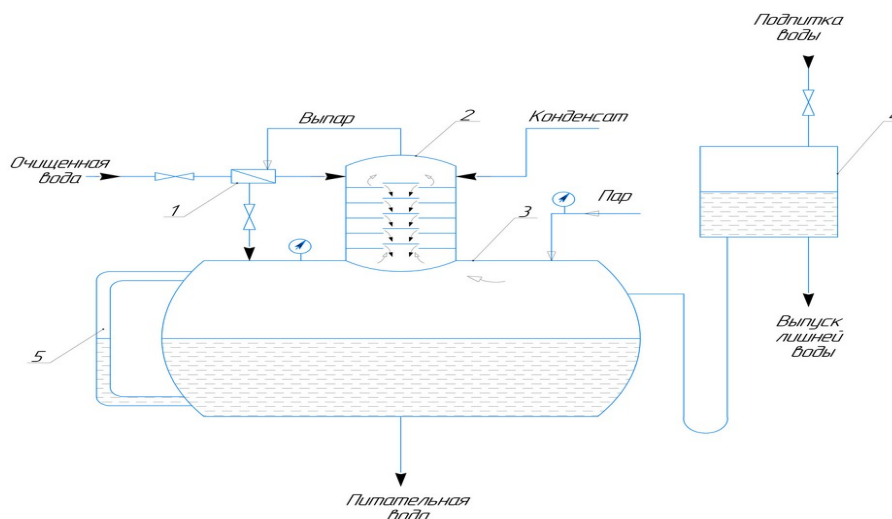


Рисунок 3 - Схема деаэраторной установки:

1 – охладитель; 2 – колонка деаэратора; 3 – бак; 4 – гидрозатвор; 5 – уровень воды

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49.4>

В составе деаэратора выделяют бака и колонку. Вода по верхней части колонки поступает в охладитель. Далее она попадает в бак и нагревается при помощи пара. При нагреве из воды выделяются газы, поступающие в охладитель. В охладителе выделившиеся газы конденсируются. Конденсат поступает по трубке в деаэратор, а газы в свою очередь удаляются. Очищенная от газов питательная вода из нижней части бака идет к котлам [3].

Помимо классических видов деаэрации существуют и другие: ультразвуковая (воздействие на воду ультразвуком, способствующим связыванию частиц газов и выталкиванию их наружу) и мембранная с применением азота (наличие в баке мембраны, на которую подается вода и азот, связывающийся с частицами газа в воде и выделяющий их наружу). Однако по степени сочетания качества работы и финансовых затрат востребованным способом подготовки воды для теплогенерирующих установок является термическая деаэрация [16].

Таким образом, методы внутрикотловой обработки воды являются эффективным способом защиты оборудования от образования накипи и коррозии.

Заключение

На сегодняшний день существует множество методов водоподготовки для теплогенерирующих установок. Выбор того или иного метода существенно зависит от состава исходных вод, а также применяемого оборудования. Предварительная водоподготовка наряду с внутрикотловой обработкой воды позволяет поддерживать оптимальный режим работы теплогенерирующих установок, а также минимизировать затраты на обслуживание и ремонт оборудования.

При своевременной и правильной водоподготовке исключаются образование отходов, сточных вод, а также загрязнение водоемов, кроме того, повышается экологическая безопасность предприятий теплоэнергетики.



Рисунок 4 - Логотип нацпроекта «Наука и Университеты»

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.49.5>

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение о предоставлении субсидии от 23 июня 2021 г. № 075-11-2021-031 ИГК 000000S407521QKN0002) в рамках реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Grant Agreement dated June 23, 2021 No. 075-11-2021-031 IGC 000000S407521QKN0002) as part of the implementation of complex projects for the creation of high-tech industries approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated April 9, 2010 No. 218

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Селиванов О.Г. Оценка эффективности противоточных схем работы натрий-катионитовых фильтров в процессах умягчения воды. / О.Г. Селиванов, Е.С. Пикалов, Л.Н. Романова // Инженерный вестник Дона. — 2022. — 7 (91). — с. 318-330.
2. Ларин Б.М. Совершенствование водоподготовки на ТЭС. / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика. — 2015. — 4. — с. 58-64.
3. Карауш С.А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов / С.А. Карауш, А.Н. Хуторной. — Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. — 161 с.
4. Иванов М. Отстойники в очистных системах. / М. Иванов // Коммунальный комплекс России. — 2016. — 7.
5. Павлов Ю.Н. Применение современных методов очистки воды на ТЭЦ и котельных. / Ю.Н. Павлов, В.С. Смирнов // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»; — СПб: Нацразвитие, 2021. — с. 52-57.
6. Мосин О.В. Баромембранные процессы и аппараты водоподготовки. / О.В. Мосин // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2013. — 3. — с. 34-42.
7. Гужулев И.П. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике / И.П. Гужулев — Омск: ОмГТУ, 2005. — 384 с.
8. Горбань Я.Ю. Методы удаления из воды солей кальция и магния. / Я.Ю. Горбань, Т.Г. Черкасова, А.В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2016. — 2. — с. 126-135.
9. Савочкин А.Ю. Водоподготовка для котельных. / А.Ю. Савочкин // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2011. — 1. — с. 68-71.
10. Волков В.Н. Современные технологии обратного осмоса и ионного обмена в системах водоподготовки теплоснабжения: эффективность и экологичность. / В.Н. Волков, С.А. Горбунов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2010. — 4. — с. 13-15.
11. Сибирская экологическая компания. — URL: <https://www.sibecolog.ru/informatsiya/82/>. (дата обращения: 19.10.2022).
12. Самойлов А.В. Химводоподготовка для котельных и пунктов теплоснабжения. / А.В. Самойлов, А.Ю. Козлов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2015. — 5. — с. 46-53.
13. Ушаков Г.В. Антинакипная обработка сетевой воды электрическим полем в тепловых сетях. / Г.В. Ушаков // Теплоэнергетика. — 2008. — 7. — с. 32-35.
14. Воробьева Е.В. Очистка природной воды и промышленных стоков от примесей методом воздушной пневмосепарации. / Е.В. Воробьева, И.М. Кувшинников // Энергоснабжение и водоподготовка. — 2011. — 2. — с. 15-20.
15. Ахмедов Ш.Н. Водоподготовка для теплогенерирующих установок и систем теплоснабжения. / Ш.Н. Ахмедов, А.Г. Поздеев // Энергетическая безопасность: Сборник научных статей II Международного молодежного конгресса 2017; — Курск: Университетская книга, 2021. — с. 123-126.
16. Деаэрация воды для котельных. — URL: https://vagner-ural.ru/o_kompanii/stati-po-vodochistke/deaeraciya-vody-dlya-kotelnyh/. (дата обращения: 19.10.2022).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Selivanov O.G. Ocenka effektivnosti protivotochny'x sxem raboty' natrij-kationitovy'x fil'trov v processax umyagcheniya vody' [Evaluation of the Effectiveness of Countercurrent Schemes of Sodium-cationite Filters in Water

Softening Processes]. / O.G. Selivanov, E.S. Pikalov, L.N. Romanova // Inzhenerny'j vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. — 2022. — 7 (91). — p. 318-330. [in Russian]

2. Larin B.M. Sovershenstvovanie vodopodgotovki na TE'S [Improvement of Water Treatment at Thermal Power Plants]. / B.M. Larin, E.N. Bushuev, A.B. Larin // Teploe'nergetika [Thermal Power Engineering]. — 2015. — 4. — p. 58-64. [in Russian]

3. Karaush S.A. Teplogeneriruyushchie ustanovki sistem teplosnabzheniya: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov [Heat Generating Installations of Heat Supply Systems: A textbook for university students] / S.A. Karaush, A.N. Khutornoi. — Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2003. — 161 p. [in Russian]

4. Ivanov M. Odstojniki v ochistny'x sistemax [Settling Tanks in Treatment Systems]. / M. Ivanov // Kommunal'ny'j kompleks Rossii [Communal Complex of Russia]. — 2016. — 7. [in Russian]

5. Pavlov Yu.N. Primenenie sovremenny'x metodov ochistki vody' na TE'Cz i kotel'ny'x [Application of Modern Methods of Water Purification at Thermal Power Plants and Boiler Houses]. / Yu.N. Pavlov, V.S. Smirnov // Collection of selected articles on the materials of scientific conferences of the State Research Institute "National Development"; — SPb: Nacrazvitie, 2021. — p. 52-57. [in Russian]

6. Mosin O.V. Baromembranny'e processy' i apparaty' vodopodgotovki [Baromembrane Processes and Water Treatment Apparatuses]. / O.V. Mosin // Santexnika, otoplenie, kondicionirovanie [Plumbing, Heating, Conditioning]. — 2013. — 3. — p. 34-42. [in Russian]

7. Guzhulev I.P. Vodopodgotovka i vodno-ximicheskie rezhimy' v teploe'nergetike [Water Treatment and Water-chemical Regimes in Thermal Power Engineering] / I.P. Guzhulev — Omsk: OmGTU, 2005. — 384 p. [in Russian]

8. Gorban' Ya.Yu. Metody' udaleniya iz vody' solej kal'ciya i magniya [Methods for Removing Calcium and Magnesium Salts from Water]. / Ya.Yu. Gorban', T.G. Cherkasova, A.V. Nevedrov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. — 2016. — 2. — p. 126-135. [in Russian]

9. Savochkin A.Yu. Vodopodgotovka dlya kotel'ny'x [Water Treatment for Boiler House]. / A.Yu. Savochkin // Santexnika, otoplenie, kondicionirovanie [Plumbing, Heating, Air Conditioning]. — 2011. — 1. — p. 68-71. [in Russian]

10. Volkov V.N. Sovremennyye tekhnologii obratnogo osmosa i ionnogo obmena v sistemax vodopodgotovki teplosnabzheniya: e'ffektivnost' i e'kologichnost' [Modern Technologies of Reverse Osmosis and Ion Exchange in Heat Supply Water Treatment Systems: Efficiency and Environmental Friendliness]. / V.N. Volkov, S.A. Gorbunov // E'nergoberezhenie i vodopodgotovka [Energy Saving and Water Treatment]. — 2010. — 4. — p. 13-15. [in Russian]

11. Sibirskaya ekologicheskaya kompaniya [Siberian Ecological Company]. — URL: <https://www.sibecolog.ru/informatsiya/82/>. (accessed: 19.10.2022). [in Russian]

12. Samojlov A.V. Ximvodopodgotovka dlya kotel'ny'x i punktov teplosnabzheniya [Chemical Water Treatment for Boiler Houses and Heat Supply Points]. / A.V. Samojlov, A.Yu. Kozlov // E'nergoberezhenie i vodopodgotovka [Energy Saving and Water Treatment]. — 2015. — 5. — p. 46-53. [in Russian]

13. Ushakov G.V. Antinakupnaya obrabotka setevoy vody' e'lektricheskim polem v teplovy'x setyax [Anti-scale Treatment of Mains Water by an Electric Field in Thermal Networks]. / G.V. Ushakov // Teploe'nergetika [Thermal Power Engineering]. — 2008. — 7. — p. 32-35. [in Russian]

14. Vorob'eva E.V. Ochistka prirodnoj vody' i promy'shlenny'x stokov ot primesej metodom vozduшной pnevmoseparacii [Purification of Natural Water and Industrial Effluents from Impurities by the Method of Air Pneumoseparation]. / E.V. Vorob'eva, I.M. Kuvshinnikov // E'nergosnabzhenie i vodopodgotovka [Power Supply and Water Treatment]. — 2011. — 2. — p. 15-20. [in Russian]

15. Axmedov Sh.N. Vodopodgotovka dlya teplogeneriruyushhix ustanovok i sistem teplosnabzheniya [Water Treatment for Heat Generating Plants and Heat Supply Systems]. / Sh.N. Axmedov, A.G. Pozdeev // Energy Security: Collection of scientific articles of the II International Youth Congress 2017; — Kursk: Universitetskaya kniga, 2021. — p. 123-126. [in Russian]

16. Deaeratsiya vody dlya kotel'nykh [Deaeration of water for boiler houses]. — URL: https://vagner-ural.ru/o_kompanii/stati-po-vodoochistke/deaeratsiya-vody-dlya-kotelnykh/. (accessed: 19.10.2022). [in Russian]