

УДК 502.51:008

**И. И. Адиканко, С. А. Дубенок**

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

**ПРОБЛЕМЫ СОКРАЩЕНИЯ СБРОСА ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

В настоящее время основным источником водоснабжения на производственные нужды объектов теплоэнергетики Республики Беларусь являются поверхностные воды. Из-за высоких требований к показателю качества воды для нужд производства неотъемлемой частью основных производственных процессов на объектах теплоэнергетики становится водоподготовка. Водоподготовка, как совокупность процессов, на объектах теплоэнергетики может включать следующие этапы: предварительная очистка, умягчение, обессоливание, обеззараживание. Схемы водоподготовки, применяемые на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь, разработаны в 60–70-х гг. прошлого века, при этом, как показывает анализ исследований объектов теплоэнергетики, Российская Федерация активно производит модернизацию разработанных в СССР технологий и схем водоподготовки с переходом на более современные мембранные технологии. Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области водоподготовки объектов теплоэнергетики актуальным становится вопрос об анализе существующих методов, технологий и схем водоподготовки, а также разработка рекомендаций по их оптимизации с учетом экономических и экологических показателей с целью снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду и получения экономической выгоды от использования сточных вод водоподготовки в технологических процессах. В результате подготовлен проект национального справочного руководства по наилучшим доступным техническим методам для топливосжигающих установок.

**Ключевые слова:** водоподготовка, теплоэнергетика, умягчение, обессоливание, сточные воды.

**I. I. Adzikanko, S. A. Dubenok**Republican Unitary Enterprise  
“Central Research Institute for Complex Use of Water Resources”**THE PROBLEMS OF REDUCING THE DISCHARGE OF HIGH-MATERIALIZED WASTEWATER ON THE OBJECTS OF HEAT-POWER ENGINEERING**

At present, surface water is the main source of water supply for the production needs of thermal power facilities of the Republic of Belarus. Due to the high requirements to the water quality index for the needs of production of an integral part of the main production processes, water treatment facilities are becoming the objects of heat power engineering. Water treatment, as a set of processes, at the sites of heat power engineering can include the following stages: preliminary preparation, softening, desalination, disinfection. Water treatment schemes used at power facilities of the Republic of Belarus in the 60–70's. Past times, at the same time, as analysis of research of heat power facilities shows. The Russian Federation is actively developing modernization in technologies and water treatment systems with the transition to more modern membrane technologies. For the use in the Republic of Belarus of advanced scientific and technical developments in the field of water treatment of thermal power facilities, the issue of analyzing existing methods, technologies and water treatment schemes, as well as developing recommendations for their optimization, taking into account economic and environmental indicators, in order to reduce the impact of heat power facilities on environment and obtaining economic benefits from the use of wastewater treatment in the process. As a result, a draft national manual on best available technical methods for large combustion plants has been prepared.

**Key words:** water treatment, heat power engineering, softening, desalination, waste water.

**Введение.** В соответствии со статьей 3 Водного кодекса Республики Беларусь основными принципами охраны и использования вод являются: рациональное использование водных ресурсов, комплексное использование водных ре-

сурсов, предупреждение загрязнения и засорения вод, что подтверждает актуальность выбранной проблемы [1]. Также, в соответствии со статьями 37 и 42 Водного кодекса, объекты теплоэнергетики, как водопользователи, осуществ-

ляющие использование поверхностных водных объектов, обязаны рационально использовать воду, принимать меры по снижению ее потерь, внедрять системы оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в целях снижения количества сбрасываемых сточных вод и уменьшения потребления воды [1].

В настоящее время основным источником водоснабжения на производственные нужды объектов теплоэнергетики Республики Беларусь являются поверхностные воды. Из-за высоких требований к показателю качества воды для нужд производства неотъемлемой частью основных производственных процессов на объектах теплоэнергетики становится водоподготовка. Очищенная вода необходима для питания паровых котлов, подпитки тепловых сетей. Для приготовления воды требуемого качества на объектах теплоэнергетики внедряется водоподготовка в целях обессоливания и умягчения исходной воды до технологических показателей. Сточные воды, образующиеся на различных этапах водоподготовки, могут быть загрязнены взвешенными веществами, кислотами, щелочами и солями. Воздействие на окружающую среду, оказываемое сточными водами от различных этапов водоподготовки, зависит от множества факторов, основными из которых являются объем обрабатываемой исходной воды и ее качество, тип применяемых технологий, использование реагентов.

Используемые технологии на крупных объектах теплоэнергетики (тепловые электрические станции и другие установки по получению электроэнергии, пара и горячей воды проектной суммарной (тепловой и электрической) установленной мощностью 100 МВт и более), в соответствии с законодательством Республики Беларусь, должны соответствовать наилучшим доступным техническим методам (НДТМ) [2]. В настоящее время в Республике Беларусь от-

сутствуют нормативные документы, описывающие НДТМ в области водоподготовки на объектах теплоэнергетики, в результате чего приобретает актуальность анализ НДТМ, применяемых в других странах.

**Основная часть.** Целью статьи является анализ существующих схем водоподготовки и предложения по их оптимизации на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь для сокращения сброса высокоминерализованных сточных вод.

Водоподготовка, как совокупность процессов, на объектах теплоэнергетики может включать следующие этапы: предварительная очистка, умягчение, обессоливание, обеззараживание.

Предварительная очистка, в первую очередь, зависит от источника водоснабжения и качества исходной воды. Для крупных объектов теплоэнергетики Республики Беларусь основным источником воды на производственные нужды являются поверхностные водные объекты, реже сети городского водопровода. Для котельных характерно использование подземных вод и вод из сетей городского водопровода. По данным государственной статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» за 2016 г. объектами теплоэнергетики изъято, добыто и получено 122008,38 тыс. м<sup>3</sup> воды, в том числе 71609,98 тыс. м<sup>3</sup> изъято из поверхностных водных объектов.

Данные по крупнейшим объектам теплоэнергетики, оказывающим воздействие на водные объекты за счет добычи (изъятия) воды и сброса сточных вод, представлены в табл. 1.

Целью предварительной очистки является удаление грубых примесей, взвешенных веществ, а также органических загрязнений из подаваемой воды. При этом в качестве предварительной очистки могут использоваться следующие технологии: грубая фильтрация, биологическая очистка, реагентная обработка, флотация, отстаивание, фильтрация, мембранные технологии.

Таблица 1

Данные по водопользованию за 2016 г.  
на обследованных крупных объектах теплоэнергетики Республики Беларусь

Наименование объекта	Добыто и изъято воды, тыс. м <sup>3</sup>	Сброшено сточных вод в водный объект, тыс. м <sup>3</sup>
Новополоцкая ТЭЦ	52919,65	24817,13
Лукомльская ГРЭС	5927,3	235,07
Минская ТЭЦ-5	3383,98	457,748
Витебская ТЭЦ	2807,09	2295,13
Минская ТЭЦ-2	1695,83	476,60
Минская ТЭЦ-3	1060,39	0
Полоцкая ТЭЦ	147,80	0
Оршанская ТЭЦ	34,73	134,61

Для крупных объектов теплоэнергетики, использующих значительное количество водных ресурсов, характерно применение полного перечня технологий предварительной очистки, что связано с использованием на технологические нужды воды из поверхностных источников. Для котельных, как правило, в качестве предварительной очистки используют технологию механической фильтрации или мембранные технологии. Мембранные технологии являются наиболее новой технологией водоподготовки. В качестве предварительной очистки может использоваться микро- и ультрафильтрация.

Умягченная вода на объектах теплоэнергетики используется для подпитки тепловой сети. Для умягчения воды используются следующие технологии: реагентное умягчение, термическое умягчение, ионный обмен, нанофильтрация, электрохимическое умягчение. Реагентное умягчение, термическое умягчение и ионный обмен являются более старыми, но отработанными технологиями, широко применяемыми в настоящее время на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь. Методы нанофильтрации и электрохимического умягчения являются более современными, но пока широко не используются на объектах теплоэнергетики.

Обессоленная вода на объектах теплоэнергетики используется для производства пара. Для обессоливания применяют: метод ионного обмена, электродиализ, электродеионизацию, обратный осмос. Наиболее часто применяемым методом обессоливания воды в сфере теплоэнергетики Республики Беларусь является метод ионного обмена. Обессоливание может проводиться в одну, две, три ступени или смешанным слоем ионитов. Для технологии ионного обмена характерны: возможность получения сверхчистой воды; отработанность и надежность; способность работать при резко меняющихся параметрах питательной воды; минимальные капитальные и энергетические затраты; меньший расход питательной воды; минимальный объем отходов, обеспечивающий возможность их переработки, а также высокий расход агрессивных реагентов; эксплуатационные расходы, растущие пропорционально содержанию исходной воды; необходимость обработки регенерационных растворов и сложности с их отведением в сети коммунальной канализации и водные объекты.

В последние десятилетия в большинстве стран Европейского Союза происходит ужесточение природоохранных требований в отношении запрещения сброса сточных вод и усиления штрафных санкций в отношении токсичных и вредных веществ в их составе – тяжелых металлов, органических соединений.

Во многих известных европейских публикациях подчеркивается важность оценки затрат на утилизацию сточных вод на объектах теплоэнергетики [3, 4]. Указывалось также на необходимость максимально возможного сокращения количества сточных вод. При этом технологические схемы для полной утилизации сточных вод с получением в той или иной форме сухих солевых отходов в европейской практике отсутствуют.

Таким образом, европейская концепция в области снижения воздействия сточных вод теплоэнергетики на окружающую среду сводится к необходимости сокращения объема полученных сточных вод, удаления из них токсичных и вредных веществ с последующим сбросом солей в водные объекты [5].

На сегодняшний день наиболее строгим в области обработки сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки на объектах теплоэнергетики, является законодательство США.

Для рационализации водопотребления и водоотведения на объектах теплоэнергетики США представляет интерес опыт, накопленный на мощных электростанциях, которые в соответствии с местными требованиями имеют ограниченный или нулевой сброс сточных вод [6].

Выбор тех или иных решений проблем отведения и утилизации сточных вод на объектах теплоэнергетики в США определяется двумя основными факторами: регионом расположения и экономикой. В прибрежных районах сточные воды сбрасываются в океаны, причем в случае необходимости их предварительно обезвреживают. Значения концентраций загрязняющих веществ при этом не ограничиваются. Концентрации по содержанию солей в сбрасываемой сточной воде также не ограничиваются.

В континентальных регионах США решение проблемы зависит от экологической «напряженности» ситуации и климатических условий. Здесь имеется в виду соотношение интенсивности (суммарной за год) солнечного излучения и количества выпадающих атмосферных осадков. В зависимости от местных условий выбирается одно из трех возможных решений:

- сброс остаточных (максимально уменьшенных) сточных вод в природные водные объекты;

- выпаривание сточных вод в прудах-испарителях (по мере необходимости сухой остаток удаляется из пруда и вывозится);

- механическое выпаривание остаточных сточных вод в «концентраторах рассола» и кристаллизаторах с получением обезвоженного солевого остатка.

Наиболее распространенным решением стало сокращение объема сточных вод с

помощью мембранных способов водообработки, таких как обратный осмос, электродиализ и их сочетание.

В Японии проблема переработки сточных вод, как таковая, не существует, поскольку все объекты теплоэнергетики этой страны либо являются приморскими, либо расположены вблизи морского побережья. Поэтому сточные воды сбрасываются в океан [5].

Как видно из приведенного выше зарубежного опыта, содержание минеральных солей в сточных водах теплоэнергетики нормируется не всегда и не везде, и необходимость соответствующей очистки определяется технико-экономическим путем [6].

В области водоподготовки полностью безотходных технологий пока не существует, и поэтому обычно речь идет о бессточных водоподготовительных установках, при работе которых отсутствует сброс сточных вод, но допускается образование твердых отходов (шлам, сухие соли). Твердые отходы могут быть реализованы потребителям в качестве товарных продуктов, поступать в отвалы или на захоронение [7].

Создание бессточных водоподготовительных установок ведется по двум направлениям: усовершенствование схемы водообработки для максимального сокращения сточных вод и переработка отходов станций водоподготовки. Переработка отходов развивается по двум путям:

- повторное использование сточных вод после их переработки;

- переработка сточных вод с получением твердых товарных продуктов или твердых отходов для последующей переработки, складирования, захоронения или вывоза.

Наименее опасен из методов этого типа вывоз сухих нейтральных солей или их концентрированных растворов в моря и океаны [8], однако данный метод не подходит для условий Республики Беларусь.

Есть мнение, что настоящая бессточность водоподготовительной установки достигается лишь в тех случаях, когда соли исходной воды и применяемые для ее обработки реагенты либо поступают в отвалы в виде нерастворимых в воде соединений (карбонаты, гидроксиды и оксиды), либо

превращаются в сухие соли (хлорид-ион, сульфат-ион), используемые в качестве товарных продуктов (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>) на других производствах [9]. Условие бессточности выполняется и при захоронении этих сухих солей (или вывозе их в море), хотя это связано с большими затратами.

В рамках исследований проведен патентный поиск технологий и технических решений в области сокращения сброса сточных вод на станциях водоподготовки. Поиск осуществлялся по трем направлениям. Это сокращение сброса сточных вод за счет:

- снижения объемов используемых реагентов;
- оптимизации технологий водоподготовки;
- оптимизации технологий очистки сточных вод.

Поскольку законодательство Республики Беларусь идет по пути гармонизации с законодательством стран Европейского Союза и Российской Федерации, патентный поиск по данным направлениям проводился в Республике Беларусь, Российской Федерации, странах Европейского Союза. Рассматривались действующие патенты, заявленные после 01.01.1980.

Результаты поиска показали, что наиболее широко вопрос сокращения сброса сточных вод изучен в странах Европейского Союза, где зарегистрированы десятки тысяч патентов только по технологиям водоподготовки. Количество патентов, зарегистрированных в Российской Федерации и Республике Беларусь, использование которых актуально для объектов теплоэнергетики, а также количество патентов, зарегистрированных в странах Европейского Союза, применение которых направлено исключительно на объекты теплоэнергетики, представлено в табл. 2. Данные патентного поиска демонстрируют, что в Республике Беларусь проблема сокращения сброса сточных вод от объектов водоподготовки изучена слабо, при этом вопрос сокращения сброса сточных вод за счет снижения объемов используемых реагентов практически не исследован.

Для изучения возможности сокращения объемов сброса сточных вод водоподготовки необходимо оценить объемы, состав и свойства сточных вод, образующихся на различных этапах.

Таблица 2

**Результаты патентного поиска в области сокращения сброса сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки**

Объект патентного поиска	Снижение объемов используемых реагентов	Оптимизация технологий водоподготовки	Оптимизация технологий очистки сточных вод
Республика Беларусь	1	4	8
Российская Федерация	17	36	27
Европейский Союз	2	16	19

Таблица 3

**Перечень применяемых технологий на рассматриваемых объектах теплоэнергетики**

Технология	Количество объектов в Республике Беларусь	Количество объектов в Российской Федерации
Предварительная очистка		
Реагентная обработка	6	–
Отстаивание	6	–
Фильтрация	7	5
Мембранные технологии	1	2
Умягчение воды		
Реагентное умягчение	1	–
Ионный обмен	16	–
Нанофильтрация	1	–
Обессоливание		
Ионный обмен	15	8
Электродиализ	–	1
Обратный осмос	–	9
Обеззараживание		
Ультрафиолетовое облучение	1	–

В рамках исследования изучены процессы водоподготовки, реализованные на 17 объектах теплоэнергетики Республики Беларусь (7 крупных объектах теплоэнергетики и 10 районных котельных) и 13 объектах теплоэнергетики Российской Федерации. Данные по объектам теплоэнергетики Российской Федерации выбраны в основном по источникам о модернизации существующих технологий, проводимых компаниями Dow и Mediana-filters.

Составлен перечень применяемых технологий водоподготовки на 30 рассмотренных объектах энергетики, приведенный в табл. 3.

Анализ применяемых технологий водоподготовки позволяет сделать вывод о том, как происходят процессы умягчения и обессоливания на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь и Российской Федерации:

– типовая схема умягчения: известкование с коагуляцией в осветлителе, фильтрование через механические фильтры, Na-катионирование;

– типовая схема обессоливания: известкование с коагуляцией в осветлителе, фильтрование через механические фильтры, H-катионитовые и анионитовые фильтры первой ступени, декарбонизация, H-катионитовые и анионитовые фильтры второй ступени.

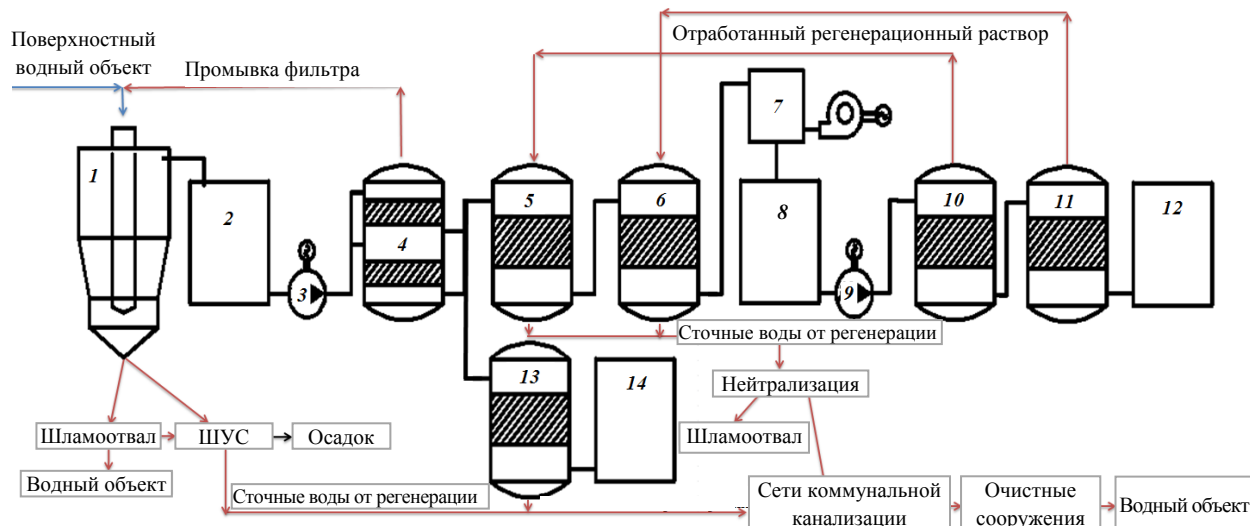
Данные типовые схемы разработаны в 60–70-х гг. прошлого века, при этом, как показывает анализ табл. 2, Российская Федерация активно производит модернизацию разработанных в СССР технологий и схем водоподготовки с переходом на более современные мембранные технологии.

Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области водоподготовки объектов теплоэнергетики актуальным становится вопрос об анализе существующих методов, технологий и схем водоподготовки, а также разработке рекомендаций по их оптимизации с учетом экономических и экологических показателей с целью снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду и получения экономической выгоды от использования сточных вод водоподготовки в технологических процессах.

Принципиальная схема водоподготовки для объектов теплоэнергетики Республики Беларусь представлена на рисунке.

Потоки сточных вод, обозначенные на схеме, показывают, что на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь широко применяются система повторного использования регенерационного раствора, предназначенного для регенерации ионообменных фильтров обессоливания (H-катионитовые и анионитовые фильтры), и схема возврата промывных вод механических фильтров. При этом повторное использование регенерационных растворов Na-катионитовых фильтров умягчения или их обработка отсутствуют.

Качество сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки, формируется как за счет концентрирования загрязняющих веществ, так и за счет добавления химических реагентов. За исключением фильтрования воды через механические фильтры все этапы водоподготовки производятся с использованием реагентов.



Принципиальная схема водоподготовки для объектов теплоэнергетики Республики Беларусь:

- 1 – осветлитель; 2 – бак коагулированной воды; 3 – насос коагулированной воды;  
 4 – механический фильтр; 5 – Н-катионитовый фильтр I ступени; 6 – анионитовый фильтр I ступени;  
 7 – декарбонизатор; 8 – бак частично обессоленной воды; 9 – насос частично обессоленной воды;  
 10 – Н-катионитовый фильтр II ступени; 11 – анионитовый фильтр II ступени;  
 12 – бак обессоленной воды; 13 – Na-катионитовый фильтр; 14 – бак умягченной воды

По данным государственной статистической отчетности по форме 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» за 2016 г. объектами теплоэнергетики Республики Беларусь сброшено 32385,66 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод в водные объекты, содержащих значительное количество минеральных загрязнений и трудноокисляемых органических веществ (табл. 4). На объектах теплоэнергетики Республики Беларусь в качестве загрузки для Na-катионитовых и Н-катионитовых фильтров наиболее часто используется катионит КУ-2-8 в виде сильнокислотной ионообменной смолы с гелевой структурой. Катионит характеризуется высокой осмотической стабильностью и химической стойкостью к воздействию щелочей, кислот, окислителей. Для регенерации катионита КУ-2-8 на Na-катионитовых фильтрах готовят соле-

вой раствор хлорида натрия – 8–12%-ного NaCl. На регенерацию одного кубометра загрузки в среднем уходит 150–200 кг хлорида натрия. Основным недостатком данного метода регенерации является увеличение концентрации хлорид-ионов в составе сточных вод, образующихся в процессе регенерации Na-катионитовых фильтров.

В итоге содержание хлорид-ионов в сточной воде существенно превышает допустимые концентрации, установленные как на сброс в сети городской хозяйственной канализации, так и на сброс в поверхностные водные объекты. Большинство объектов энергетики в данной ситуации снижают концентрацию хлорид-ионов путем разбавления сточных вод условно чистыми водами, взятыми из технологического процесса, что ведет к перерасходу ресурсов, как сырьевых, так и финансовых.

Таблица 4

Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод за 2016 г.

Наименование показателя	Масса веществ, т
Взвешенные вещества	278,924
Минерализация (по сухому остатку)	6898,02
Сульфат-ион	306,536
Хлорид-ион	263,849
БПК5	51,13
ХПК	944,773
СПАВ анион.	0,30549
Нефтепродукты	1,31755
Фосфат-ион	0,473
Фосфор общий	2,31
Аммоний-ион	0,261
Железо общее	0,7
Медь	0,003

Для регенерации катионита КУ-2-8 на Н-катионитовых фильтрах используют раствор серной кислоты – 1–1,5%-ной  $H_2SO_4$ . На регенерацию одного кубометра загрузки Н-катионитовых фильтров первой ступени в среднем уходит 100–150 кг 100%-ной серной кислоты, а на регенерацию одного кубометра загрузки Н-катионитовых фильтров второй ступени – 200–250 кг 100%-ной серной кислоты. При использовании данного метода регенерации в составе сточных вод повышается содержание сульфат-ионов.

В качестве загрузки для анионитовых фильтров чаще всего используется анионит АВ-17-8 в виде гелевой анионообменной смолы на основе сополимера стирола и дивинилбензола с бензилтриметиламмониевыми функциональными группами. Данный анионит отличается высокой химической стойкостью к воздействию щелочей, кислот, окислителей, обладает высокой механической прочностью и осмотической стабильностью, устойчив к действию температур. Для регенерации анионита АВ-17-8 первой ступени используют раствор гидроксида натрия – 4–6%-ного NaOH, а для регенерации второй ступени 6–8%-ного NaOH. На регенерацию одного кубометра загрузки анионитовых фильтров первой ступени в среднем уходит 80–100 кг 100%-ного гидроксида натрия, а на регенерацию 1 м<sup>3</sup> загрузки анионитовых фильтров второй ступени – 100–150 кг 100%-ного гидроксида натрия.

Высокоминерализованные сточные воды, образовавшиеся в процессе реагентной регенерации Н-катионитовых и анионитовых фильтров на объектах теплоэнергетики, обязательно подаются на станцию нейтрализации, а после процесса нейтрализации разбавляются преимущественно водой от охлаждения оборудования и отводятся в сети городской хозяйственной канализации или на соответствующую карту шламонакопителя, после отстаивания на котором сбрасываются в водные объекты.

Высокоминерализованные сточные воды, образовавшиеся в процессе реагентной регенерации Na-катионитовых фильтров на объектах теплоэнергетики малой мощности, могут отводиться без нейтрализации в сети коммунальной канализации. Из вышеуказанного следует, что наибольшее влияние на водные объекты Республики Беларусь из общего процесса водоподготовки будет оказывать процесс регенерации ионообменных смол ионообменных фильтров. При применении ионообменных фильтров (Na-катионитные, Н-катионитовые и анионитовые) для умягчения или обессоливания воды в результате регенерации их загрузок увеличивается содержание сульфат-иона и хлорид-иона в составе сточных вод. В процессе регенерации Na-катионитовых фильтров в среднем образуется 100–150 м<sup>3</sup> сточных вод, средняя

концентрация сульфат-иона в которых составляет 400–600 мг/л, а концентрация хлорид-иона достигает 30 000 мг/л.

В процессе регенерации Н-катионитовых фильтров первой ступени образуется 120–200 м<sup>3</sup> сточных вод, анионитовых фильтров первой ступени – 200–300 м<sup>3</sup> сточных вод. В процессе регенерации Н-катионитовых фильтров и анионитовых фильтров второй ступени суммарно образуется 100–150 м<sup>3</sup> сточных вод. Сточные воды, образовавшиеся в процессе регенерации Н-катионитовых и анионитовых фильтров первой и второй ступени, смешиваются между собой в баке-нейтрализаторе, в результате чего итоговая средняя концентрация сточных вод достигает следующих значений: сульфат-ион – 4000 мг/л, хлорид-ион – 450 мг/л. С целью оптимизации водоподготовки на объектах теплоэнергетики и сокращения воздействия на окружающую среду следует рассмотреть снижение объемов применяемых реагентов в процессе регенерации ионообменных фильтров. Снизить объем применяемых реагентов возможно путем использования ступенчатой регенерации, когда сначала производится регенерация фильтра второй ступени, а затем отработанный регенерационный раствор пропускается перед подачей свежего регенерационного раствора на первую ступень, нейтрализацию регенерационных растворов Н-катионитовых фильтров целесообразно производить отработанным регенерационным раствором анионитовых фильтров, что позволит экономить объемы используемой щелочи. Снизить объем используемых реагентов возможно также путем перехода к более современным установкам обессоливания на основе мембранных технологий или перехода к комбинированным методам обработки воды.

Наиболее простым и наименее затратным способом экономии реагентов является метод ступенчатой регенерации. В настоящее время на ряде объектов рассматриваются вопросы по снижению объемов сточных вод, массы и концентрации загрязняющих веществ в их составе. Использование нейтрализованных сточных вод от установки обессоливания для регенерации Na-катионитовых фильтров на одной из ТЭЦ Республики Беларусь позволяет практически полностью отказаться от приготовления регенерационного раствора HCl и существенно сократить в составе сточных вод от регенерации фильтров водоподготовки концентрацию хлорид-иона более чем в 60 раз. Данный процесс не получил широкого применения на территории Республики Беларусь вследствие того, что в действующем законодательстве нет описания данной схемы повторного использования сточных вод.

**Заключение.** Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что объекты теплоэнергетики при сбросе сточных вод в окружающую

среду привносят значительное количество минеральных загрязнений и трудноокисляемых органических веществ, образующихся в основном в процессе водоподготовки. При этом проблема сокращения сброса сточных вод от водоподготовки изучена слабо, а вопрос снижения объемов используемых реагентов практически не исследован. По результатам исследований систематизи-

рованы современные мировые подходы в области НДТМ для топливосжигающих установок и предложены принципиальные схемы водоподготовки для объектов теплоэнергетики, позволяющие сократить сброс высокоминерализованных сточных вод. Подготовлен проект национального справочного руководства по НДТМ для топливосжигающих установок.

### Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 № 149-З. URL: <http://kodeksy.by/vodnyy-kodeks> (дата обращения: 06.03.2018).
2. О комплексных природоохранных разрешениях: Указ Президента Республики Беларусь от 17 ноября 2011 г. № 528 (с изм. от 9 марта 2016 г.). URL: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31100528> (дата обращения: 06.03.2018).
3. Комплекс по предотвращению и контролю загрязнений. Справочный документ по наилучшим доступным техническим методам для крупных топливосжигательных установок, июль 2006 г. URL: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 06.03.2018).
4. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. Т. 2 / М. И. Алексеев [и др.]. СПб.: Новый журнал, 2007. 921 с.
5. Мамет А. П., Юрчевский Е. Б. О возможных решениях проблемы стоков систем водоподготовки на ТЭС // Теплоэнергетика. 1996. № 8. С. 2–6.
6. Мартынова О. И., Седлов А. С., Федосеев Б. С. Проблемы и некоторые пути экологического совершенствования водопользования на тепловых электростанциях. // Теплоэнергетика, 1995. № 2. С. 2–8.
7. Мамет А. П., Юрчевский Е. Б. Технология переработки стоков водоподготовительных установок ТЭС. М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1990. 38 с.
8. Мамет А. П., Юрчевский Е. Б. К вопросу о создании «бессточных» электрических станций // Теплоэнергетика. 1981. № 4. С. 59–60.
9. Кострикин Ю. М., Кременевская Е. А., Федосеев Б. С. Об экологичности технологии вод приготовления // Электрические станции. 1990. № 6'. С. 33–36.

### References

1. *Vodnyy kodeks Respubliki Belarus ot 30 aprelya 2014 № 149-Z* [Water Code of the Republic of Belarus of April 30, 2014, no. 149-Z]. Available at: <http://kodeksy.by/vodnyy-kodeks> (accessed 06.03.2018).
2. *O kompleksnykh prirodookhrannykh razresheniyakh, 17 noyabrya 2011 g., no. 528* [On Integrated Environmental Permits, November 17, 2011, no. 528]. Available at: URL: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31100528> (accessed 06.03.2018).
3. *Kompleks po predotvrashcheniyu i kontrolyu zagryazneniy. Spravochnyy dokument po nailuchshim dostupnym tekhnicheskim metodam dlya krupnykh toplivoszhigatel'nykh ustanovok, iyul 2006 g.* [Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006]. Available at: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872) (accessed 06.03.2018).
4. Alekseev M. I., Ivanov V. G., Kurganov A. M., Medvedev G. P., Mishukov B. G., Feofanov Yu. A., Tsvetkova L. I., Chernikov N. A. *Tekhnicheskyy spravochnik po obrabotke vody. V 2 m. T. 2* [Technical handbook on water treatment. in 2 vol. Vol. 2]. St. Petersburg, Novyy zhurnal Publ., 2007. 921 p.
5. Mamet A. P., Yurchevskiy Ye. B. On possible solutions to the problem of sewage water treatment systems at TPPs. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1996, no 8, pp. 2–6 (In Russian).
6. Martynova O. I., Sedlov A. S., Fedoseev B. S. Problems and some ways of ecological improvement of water use at thermal power stations. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1995, no 2, pp. 2–8 (In Russian).
7. Mamet A. P., Yurchevskiy Ye. B. *Tekhnologiya pererabotki stokov vodopodgotovitel'nykh ustanovok TES* [Technology of processing of effluents of water treatment plants of thermal power plants]. Moscow, TSNIITEITYAZHMASH, Publ., 1990. 38 p.
8. Mamet A. P., Yurchevskiy Ye. B. On the issue of creating “drainless” power plants. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1981, no 4, pp. 59–60 (In Russian).
9. Kostrikin Yu. M., Kremenevskaya Ye. A., Fedoseev B. S. On the ecology of water technology on cooking. *Elektricheskiye stantsii* [Electric stations], 1990, no. 6', pp. 33–36 (In Russian).



**Информация об авторах**

**Адиканко Иван Игоревич** – аспирант, научный сотрудник РУП «ЦНИИКИВР» (220086, г. Минск, ул. Славинского, 1/2, Республика Беларусь). E-mail: Adikanko.Ivan@gmail.com

**Дубенок Снежана Анатольевна** – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе РУП «ЦНИИКИВР» (220086, г. Минск, ул. Славинского, 1/2, Республика Беларусь). E-mail: dsnega@list.ru

**Information about the authors**

**Адиканко Иван Игоревич** – PhD student, researcher RUE “CRICUWR” (1/2, Slavinskogo str., 220086, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Adikanko.Ivan@gmail.com

**Дубенок Снежана Анатольевна** – PhD (Engineering), deputy director for scientific work of RUE “CRICUWR” (1/2, Slavinskogo str., 220086, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dsnega@list.ru

*Поступила 15.03.201*

