

УДК 621.311.22

DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-86-92

## Унифицированная схема водопользования для тепловой электростанции

Е.Н. Потапкина

Рассмотрены вопросы повышения эффективности использования водных ресурсов для пылеугольных тепловых электростанций. Предложены условия, выполнение которых позволит сохранить здоровье окружающих природных водоемов на долгие годы, а тепловые электростанции рассматривать в качестве экологически безопасных и благоприятных для окружающей природной среды. Определено, что утилизация минерализованных сточных вод водоподготовительных установок может быть осуществлена только путем концентрирования их в испарителях различных конструкций.

Предложена унифицированная схема водопользования промышленно-отопительной теплоэлектроцентрали на базе термохимического метода обессоливания с получением конечных товарных продуктов. Отмечено, что применение на ТЭС термохимического метода обессоливания позволяет исключить сброс следующих сточных вод: продувочных вод системы оборотного охлаждения, сточных вод водоподготовки, продувки котлов и ливневых стоков. Использование систем локальной очистки и оборотного водоснабжения максимально сокращает водопотребление из источника технического водоснабжения.

Разработанные решения основаны на технологических решениях, апробированных в промышленных условиях, и могут быть рекомендованы к практическому использованию при реконструкции, новом строительстве, либо при разработке нормативных документов по повышению эффективности использования водных ресурсов в цикле ТЭС.

**Ключевые слова:** техническая и сточная воды, локальная очистка, оборотное водоснабжение, термохимическое обессоливание, испарители, водовыпуск, шлам, тепловая электростанция.

**Для цитирования:** Потапкина Е.Н. Унифицированная схема водопользования для тепловой электростанции // Вестник МЭИ. 2023. № 1. С. 86—92. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-86-92.

## A Unified Water Usage Scheme for a Thermal Power Plant

E.N. Potapkina

Matters concerned with achieving more efficient use of water resources for coal fired thermal power plants are addressed. Conditions are proposed the fulfilling of which will help preserve the health of the surrounding natural water bodies for many years, and regard thermal power plants as environmentally safe and favorable for the surrounding natural environment. It is determined that the mineralized wastewater from water treatment plants can only be recovered by concentrating them in evaporators of various designs.

A unified water usage scheme for an industrial and heating combined heat and power plant based on a thermochemical demineralization method with obtaining final commodity products is proposed. It is pointed out that application of the thermochemical demineralization method at thermal power plants will eliminate the discharge of the following wastewater kinds: circulating cooling system blowdown water, water treatment plant wastewater, boiler blowdown water, and storm water drains. The use of local cleaning and circulating water supply systems minimizes water consumption from the service cooling water source.

The developed solutions are based on technological solutions that have been tested under industrial conditions and can be recommended for practical use in upgrading, new construction, or in the development of regulatory documents for more efficient use of water resources in the thermal power plant cycle.

**Key words:** service cooling water, waste water, local treatment, circulating water supply, thermochemical demineralization, evaporators, water outlet, sludge, thermal power plant.

**For citation:** Potapkina E.N. A Unified Water Usage Scheme for a Thermal Power Plant. Bulletin of MPEI. 2023;1:86—92. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2023-1-86-92.

### Введение

Тепловые электрические станции (ТЭС) — крупнейшие потребители водных ресурсов, которые платят за забор технической воды, сброс сточных вод и содержащихся в них загрязняющих веществ, а также за размещение отходов и другие виды вредного воздействия на окружающую природную среду [1 — 4].

Используемый на большинстве отечественных ТЭС ионообменный метод подготовки добавочной воды котлов на базе химического обессоливания и подпи-

точной воды теплосети сопровождается потреблением значительного количества химических реагентов и образованием большого объема сточных вод повышенной минерализации.

В этой связи разработано большое число способов обработки и утилизации регенерационных сточных вод водоподготовительных установок (ВПУ), в том числе получение их в виде растворов, пригодных для использования в сельском хозяйстве (в виде удобрений), применение мембранных установок для концентриро-

вания сточных вод и их регенерации с получением исходных растворов кислоты и щелочи, сброс стоков в топку паровых котлов, впрыск их в дымоходы котлов перед электрофильтрами, вывоз продуктов упаривания стоков в моря и океаны и др.

Важным фактором является и то, что данные технологии ориентированы на использование технической воды, поскольку использование вместо нее, например, продувочной воды системы оборотного охлаждения (СОО) более высокой минерализации, приводит к значительному росту расхода реагентов на регенерацию с соответствующим увеличением количества сточных вод и их минерализации [5 — 25].

Для повышения эффективности работы ТЭС должны выполняться два условия:

- 1) сброс стоков через водовыпуски станции не может увеличивать концентрацию нормируемых примесей в природных водоемах выше предельно допустимых концентраций по загрязняющим веществам;
- 2) масса примесей, отводимых со сточными водами, не должна превышать массу примесей, поступивших с исходной водой.

Такой подход позволяет не только не ухудшить состояние окружающих природных водоемов, но и рассматривать ТЭС как экологически безопасные и благоприятные для окружающей среды [8].

Мировой и отечественный опыт показал, что данная задача технически достижима. Минерализованные сточные воды могут быть утилизированы только путем испарения их в испарителях различной конструкции либо путем естественного упаривания (в регионах с благоприятным климатом) и выделения минеральных компонентов в твердом виде, пригодном для последующего использования [7, 8, 26 — 36].

Цель настоящей работы — разработка унифицированных решений по созданию схем рационального использования водных ресурсов для ТЭС на органическом топливе, основанных на термохимическом методе обессоливания с многократным использованием сточных вод и получением конечных товарных продуктов [17 — 26, 38]. Один из вариантов такой схемы представлен на рисунке.

Схема водопользования разработана для пылеугольной промышленно-отопительной теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), согласно которой для генерации перегретого пара в паровые котлы 1 (ПК) подаются питательная вода, твердое топливо и воздух.

Затем перегретый пар поступает на паровые турбины (Т), где расширяется и сбрасывается в конденсаторы 3 (К), к которым подводится охлаждающая вода. Турбинный конденсат проходит очистку в блочной обессоливающей установке 4 (БОУ).

После регенеративного подогрева в подогревателях низкого и высокого давления и деаэрации (на рисунке не показаны), питательная вода подается в паровые котлы 1.

Зола и шлак, образующиеся при сжигании твердого топлива, из ПК и золоуловителей с помощью гидротранспорта поступают на золоотвал 5 (ЗО) ТЭС. Осветленная вода с ЗО возвращается в ПК и используется повторно для транспортировки золы и шлака на золоотвал. При необходимости часть осветленной воды с ЗО может обрабатываться на установке локальной очистки 6 и снова поступать в тракт гидрозолоудаления (ГЗУ). Образующиеся при этом твердые отходы 7 возвращаются на ЗО, а частично обезвоженные зола и шлак утилизируются [8, 37, 38].

Дымовые газы паровых котлов 8 проходят очистку в скруббере установки десульфуризации (ДСУ) 9 по мокрому известняковому способу для удаления оксидов серы, а затем отводятся в атмосферу. Сточные воды ДСУ очищаются при использовании реагентов (известии и полиэлектролита), затем после отделения осадка в виде гипсового шлама используются повторно для приготовления раствора известняка. Гипсовый шлам после обезвоживания вывозится на переработку и последующее использование [8, 38].

Сточные воды 10 от кислотных промывок, консервации оборудования и обмывок конвективных поверхностей нагрева ПК поступают в соответствующие установки для их локальной очистки 11, где обрабатываются реагентами. Основная часть 12 очищенных стоков используется повторно для тех же целей. Ваннадийсодержащий шлам 13 вывозится на утилизацию. Осадки 14, образовавшиеся при очистке сточных вод, вместе с частью воды подаются на золоотвал, где складируются [5 — 8].

Техническая вода подается в систему оборотного охлаждения (СОО) в градирни 15 с каплеуловителями, в количестве, необходимом для восполнения потерь в СОО.

Вспомогательное оборудование паровых турбин 16, при охлаждении которого возможно загрязнение оборотной воды нефтепродуктами и маслами, выделено в самостоятельную систему. Охлаждающая вода в ней подвергается локальной очистке в установке 17 и охлаждается в водо-водяном теплообменнике 18 циркуляционной водой из основного контура СОО конденсаторов турбин. Выделившиеся в узле локальной очистки 17 масло- и нефтепродукты сжигаются в ПК [5 — 8].

Часть циркуляционной воды после теплообменника 18 подается на термохимическую ВПУ (ТХВП) с многократным использованием сточных вод и получением конечных товарных продуктов, а ее избыток 19 после байпасной очистки 20 идет на охлаждение в градирни 15 [7, 8, 26 — 36, 38].

В узле 21 продувочная вода СОО (если требуется, то в смеси с технической водой) обрабатывается реагентами (известью и коагулянтами) в осветлителях. В эти же аппараты подаются сточные воды от регенерации ионообменных загрузки фильтров БОУ 4. По-

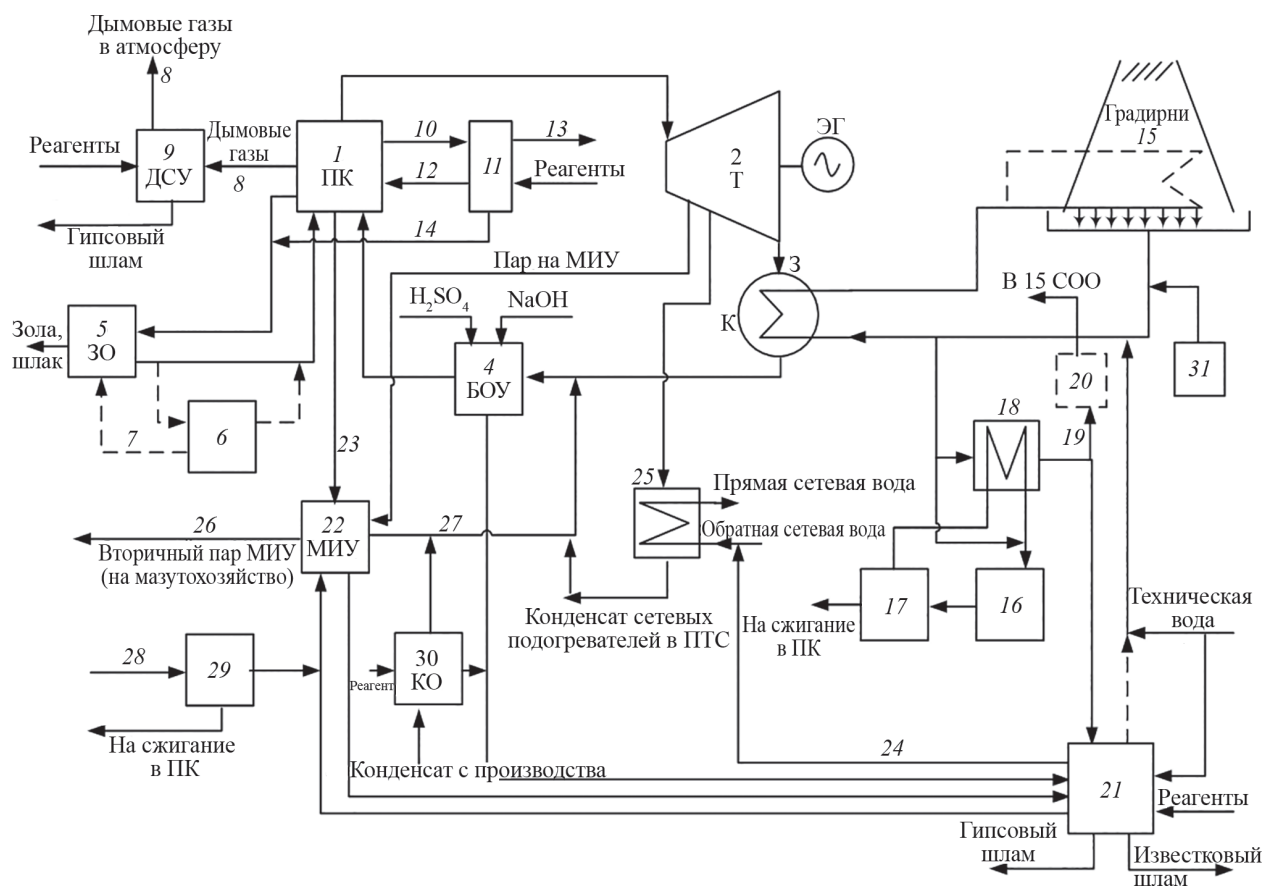


Рис. 1. Унифицированная схема водопользования для пылеугольной промышленно-отопительной ТЭЦ:

1 — паровые котлы (ПК); 2 — паровые турбины (Т); 3 — конденсаторы (К); 4 — блокная обессоливающая установка (БОУ); 5 — золоотвал (ЗО); 6, 11, 17, 29, 31 — установки локальной очистки; 7 — твердые отходы; 8 — дымовые газы; 9 — установка десульфуризации (ДСУ); 10 — сточные воды от кислотных промывок, консервации оборудования и обмывки конвективных поверхностей нагрева ПК; 12 — стоки по 10 после очистки; 13 — ванадийсодержащий шлам; 14 — осадки; 15 — градирни; 16 — вспомогательное оборудование паровых турбин; 18 — водо-водяной теплообменник; 19 — часть продувочных вод СОО; 20 — байпасная очистка СОО; 21 — узел предварительной очистки ТХВП; 22 — многоступенчатая испарительная установка (МИУ); 23 — продувка ПК; 24 — умягченная вода в теплосеть; 25 — сетевые подогреватели; 26, 27 — вторичный пар и дистиллят МИУ; 28 — конденсат греющего пара с мазутного хозяйства; 30 — конденсатоочистка (КО)

сле осветлителей вода собирается в баках осветленной воды и насосами подается на механические фильтры, загруженные кварцевым песком или антрацитом. Далее известково-коагулированная вода умягчается на натрий-катионитных фильтрах 1-й и 2-й ступеней, подвергается деаэрации в атмосферных деаэраторах и направляется в качестве питательной в многоступенчатую испарительную установку 22 (МИУ). При наличии на ТЭС барабанных котлов их продувка 23 может также подаваться на МИУ и упариваться в ней [7, 8, 26 — 36, 38].

В состав установки 21 входят узлы приготовления регенерационного раствора натрий-катионитных фильтров из продувочной воды МИУ, выделения солей жесткости на основе гипсового шлама, а также выделения известковых шламов, образующихся при обработке воды в осветлителях [7, 8, 26 — 36, 38].

Часть умягченной воды 24 из узла 21 используется в качестве подпиточной воды закрытой теплосети. Се-

тевая вода проходит нагрев в двухступенчатой сетевой теплофикационной установке 25. В случае необходимости сетевая вода может дополнительно нагреваться в пиковых водогрейных котлах (на рисунке не показаны).

При работе МИУ 22 образуется вторичный пар 26, идущий на мазутное хозяйство и производство. Дистиллят МИУ 27 используется в цикле станции для восполнения потерь пара и конденсата [5 — 7, 8, 26 — 36, 38].

Конденсат греющего пара с мазутного хозяйства 28 подается в узел локальной очистки сточных вод 29. Нефтепродукты, выделенные в узле 29, направляются на сжигание в ПК, а очищенные сточные воды возвращаются в цикл ТЭС.

Конденсат пара с производства очищается на конденсатоочистке 30 (КО), затем возвращается в цикл ТЭС. Ливневые стоки с территории станции собираются в накопителе и после локальной очистки в узле 31 поступают в цикл ТЭС [5 — 8].

На базе разработанной схемы водопользования для пылеугольной ТЭЦ можно провести анализ разработки

схемы водопользования для пылеугольной конденсационной электростанции (КЭС). На КЭС будут отсутствовать двухступенчатая сетевая теплофикационная установка 25 и конденсатоочистка 30. Дополнительно появится узел доупаривания избыточного количества мягкой продувочной воды блочной испарительной установки. Учитывая также, что при работе КЭС потребуются восполнять только внутростанционные потери рабочего тепла, то при работе СОО конденсаторов турбин может образовываться избыточное количество продувочных вод. Для такой КЭС обязательным должно стать выполнение уже упомянутых двух условий, которые не позволят нарушить экологическое равновесие окружающей природной среды [5 — 8].

### Выводы

При создании схем водопользования ТЭС следует учитывать следующие факторы: тип станции по виду отпускаемой энергии, установленное основное оборудование, его рабочие параметры, вид применяемого топлива, его качественный состав, показатели качества источника технического водоснабжения, экологи-

ческие требования, предъявляемые в месте расположения ТЭС.

Функционирование на ТЭС малоотходной ТХВП позволит исключить сброс таких сточных вод как продувочные воды СОО, сточные воды ВПУ, продувка котлов, а также ливневые стоки. Вывод солей будет осуществляться в виде твердых шламов на гипсовой основе и известковых шламов осветлителей.

Использование систем локальной очистки и оборотного водоснабжения, таких как СОО, ГЗУ, позволит максимально сократить водопотребление из источника технического водоснабжения и производить добавочную воду ПК из сточных вод станции.

Разработанные решения по водопользованию основаны на технологических решениях, апробированных в промышленных условиях и использованы при проектировании новых и реконструкции существующих ВПУ на Саранской ТЭЦ-2, Ивановской ТЭЦ-3, Петровской ТЭЦ, Мордовской ГРЭС, Новой ГРЭС в Ростовской области, Ярославской ТЭЦ-1, Новгородской ТЭЦ-20, Ростовской ТЭЦ-2, Щекинской ГРЭС, Астраханской ГРЭС и др. [5 — 7, 8, 26 — 36, 38].

### Литература

1. **Федеральный закон №7-ФЗ** от 10 января 2002 г. «Об охране окружающей среды».
2. **Водный кодекс** Российской Федерации № 74-ФЗ от 03 июня 2006 г.
3. **Постановление** Правительства Российской Федерации № 255 от 03 марта 2017 г. «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду».
4. **Приказ** Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 от 13 декабря 2016 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
5. **Правила** охраны поверхностных вод (типовые положения). М.: Государственный комитет СССР по охране природы, 1991.
6. **Методические** указания по проектированию ТЭС с максимально сокращенными стоками. М.: Минэнерго СССР, 1991.
7. **Потапкина Е.Н.** Разработка и исследование унифицированных решений малоотходной технологии водоподготовки и переработки сточных вод на ТЭС: дис. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во МЭИ, 1998.
8. **Абрамов А.И. и др.** Повышение экологической безопасности тепловых электростанций. М.: Из-во МЭИ, 2001.
9. **Громов С.Л., Пантелеев А.А.** Технологии противоточной регенерации ионитов для водоподготовки. Ч. 1 // Теплоэнергетика. 2006. № 8. С. 33—37.

### References

1. **Federal'nyy Zakon №7-FZ** ot 10 Yanvarya 2002 g. «Ob Okhrane Okruzhayushchey Sredy». (in Russian).
2. **Vodnyy Kodeks** Rossiyskoy Federatsii № 74-FZ ot 03 Iyunya 2006 g. (in Russian).
3. **Postanovlenie** Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii № 255 ot 03 Marta 2017 g. «Ob Ischislenii i Vzimanii Platy za Negativnoe Vozdeystvie na Okruzhayushchuyu Sredu». (in Russian).
4. **Prikaz** Ministerstva Sel'skogo Khozyaystva Rossiyskoy Federatsii № 552 ot 13 Dekabrya 2016 g. «Ob Utverzhdenii Normativov Kachestva Vody Vodnykh Ob'ektov Rybokhozyaystvennogo Znacheniya, v tom Chisle Normativov Predel'no-dopustimyykh Kontsentratsiy Vrednykh Veshchestv v Vodakh Vodnykh Ob'ektov Rybokhozyaystvennogo Znacheniya». (in Russian).
5. **Pravila** Okhrany Poverkhnostnykh Vod (Tipovye Polozheniya). M.: Gosudarstvennyy Komitet SSSR po Okhrane Prirody, 1991. (in Russian).
6. **Metodicheskie** Ukazaniya po Proektirovaniyu TES s Maksimal'no Sokrashchennymi Stokami. M.: Minenergo SSSR, 1991. (in Russian).
7. **Potapkina E.N.** Razrabotka i Issledovanie Unifitsirovannykh Resheniy Malootkhodnoy Tekhnologii Vodopodgotovki i Pererabotki Stochnykh Vod na TES: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. M.: Izd-vo MEI, 1998. (in Russian).
8. **Abramov A.I. i dr.** Povyshenie Ekologicheskoy Bezopasnosti Teplovykh Elektrostantsiy. M.: Iz-vo MEI, 2001. (in Russian).
9. **Gromov S.L., Panteleev A.A.** Tekhnologii Protivotochnoy Regeneratsii Ionitov dlya Vodopodgotovki. Ch. 1. Teploenergetika. 2006;8:33—37. (in Russian).



10. **Громов С.Л., Пантелеев А.А.** Технологии противоточной регенерации ионитов для водоподготовки. Ч. 2 // Теплоэнергетика. 2006. № 11. С. 50—55.
11. **Жадан А.В., Бушуев Е.Н.** Практическая реализация противоточной технологии ионного обмена // Вестник ИГЭУ. 2012. № 5. С. 10—15.
12. **Жадан А.В.** Особенности практической реализации эффективных ионообменных смол // Энергетик. 2013. № 2. С. 35—38.
13. **Downey D.** Ion Exchange — Troubleshooting an Ion Exchange Mixed-Bed Unit // Ultrapure Water. 2014. № 4. Pp. 17—21.
14. **Власова А.Ю., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Филимонова А.А., Власов С.М.** Ресурсосберегающая технология нейтрализации и очистки кислых и высоко минерализованных жидких отходов ионитной водоподготовительной установки ТЭС // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 2. С. 3—17.
15. **Власова А.Ю.** Ресурсосберегающая технология утилизации высокоминерализованных кислых и жестких отходов ионитных водоподготовительных установок ТЭС: дис. ... канд. техн. наук. Казань: Изд-во Казанского гос. энергетического ун-та, 2018.
16. **Анализ рынка ионообменных смол в России 2022.** Показатели и прогнозы [Офиц. сайт] <http://www.tebiz.ru> (дата обращения 15.06.2022).
17. **Ситняковский Ю.А., Григорьев А.С., Ноев В.В.** Обратный осмос для обессоливания добавочной воды в схеме питания паровых котлов // Энергосбережение и водоподготовка. 1998. № 6. С. 54—62.
18. **Мулдер М.** Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999.
19. **Верхошенцева Н.Н., Давлетшина Г.И.** Опыт эксплуатации установок обратного осмоса в системах водоподготовки энергетических и металлургических объектов ОАО «ММК» // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 5(43). С. 25—27.
20. **Лесков Е.Е., Цирлин А.М.** Оптимизация систем мембранного разделения // Теоретические основы химической технологии. 2007. № 5. С. 491—498.
21. **Юрчевский Е.Б., Первов А.Г., Пичугина М.А.** Применению обратноосмотической технологии обессоливания в энергетике — 20 лет // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 5. С. 2—8.
22. **Первов А.Г., Андрианов А.П., Юрчевский Е.Б.** Совершенствование мембранных систем водоподготовки — исключение реагентов и стоков // Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования: Сб. докл. IV конф. М., 2011. С. 34—44.
23. **Боронина Л.В., Усынина А.Э., Андрианов А.П.** Обоснование необходимости внедрения мембранных технологий для водоподготовки на теплоэнергетических предприятиях г. Астрахани // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 198—203.
10. **Gromov S.L., Panteleev A.A.** Tekhnologii Protivotochnoy Regeneratsii Ionitov dlya Vodopodgotovki. Ch. 2. Teploenergetika. 2006;11:50—55. (in Russian).
11. **Zhadan A.V., Bushuev E.N.** Prakticheskaya Realizatsiya Protivotochnoy Tekhnologii Ionnoogo Obmena. Vestnik IGEU. 2012;5:10—15. (in Russian).
12. **Zhadan A.V.** Osobennosti Prakticheskoy Realizatsii Effektivnykh Ionoobmennyykh Smol. Energetik. 2013;2:35—38. (in Russian).
13. **Downey D.** Ion Exchange — Troubleshooting an Ion Exchange Mixed-Bed Unit. Ultrapure Water. 2014;4:17—21.
14. **Vlasova A.Yu., Chichirova N.D., Chichirov A.A., Filimonova A.A., Vlasov S.M.** Resursosberegayushchaya Tekhnologiya Neytralizatsii i Ochistki Kislykh i Vysoko Mineralizovannykh Zhidkikh Otkhodov Ionitnoy Vodopodgotovitel'noy Ustanovki TES. Voda i Ekologiya: Problemy i Resheniya. 2017;2:3—17. (in Russian).
15. **Vlasova A.Yu.** Resursosberegayushchaya Tekhnologiya Utilizatsii Vysokomineralizovannykh Kislykh i Zhestkikh Otkhodov Ionitnykh Vodopodgotovitel'nykh Ustanovok TES: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. Kazan': Izd-vo Kazanskogo Gos. Energeticheskogo Un-ta, 2018. (in Russian).
16. **Analiz Rynka Ionoobmennyykh Smol v Rossii 2022.** Pokazateli i Progozy [Ofits. Sayt] <http://www.tebiz.ru> (Data Obrashcheniya 15.06.2022). (in Russian).
17. **Sitnyakovskiy Yu.A., Grigor'ev A.S., Noev V.V.** Obratnyy Osmos dlya Obessolivaniya Dobavochnoy Vody v Skheme Pitaniya Parovykh Kotlov. Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 1998;6:54—62. (in Russian).
18. **Mulder M.** Vvedenie v Membrannuyu Tekhnologiyu. M.: Mir, 1999. (in Russian).
19. **Verkhoshentseva N.N., Davletshina G.I.** Opyt Ekspluatatsii Ustanovok Obratnogo Osmosa v Sistemakh Vodopodgotovki Energeticheskikh i Metallurgicheskikh Ob'ektov ОАО «ММК». Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 2006;5(43):25—27. (in Russian).
20. **Leskov E.E., Tsirlin A.M.** Optimizatsiya Sistem Membrannogo Razdeleniya. Teoreticheskie Osnovy Khimicheskoy Tekhnologii. 2007;5:491—498. (in Russian).
21. **Yurchevskiy E.B., Pervov A.G., Pichugina M.A.** Primeneniyu Obratnoosmoticheskoy Tekhnologii Obessolivaniya v Energetike — 20 Let. Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 2009;5:2—8. (in Russian).
22. **Pervov A.G., Andrianov A.P., Yurchevskiy E.B.** Sovershenstvovanie Membrannykh Sistem Vodopodgotovki — Isklyuchenie Reagentov i Stokov. Sovremennye tekhnologii Vodopodgotovki i Zashchity Oborudovaniya ot Korrozii i Nakipeobrazovaniya: Sb. Dokl. IV Konf. M., 2011:34—44. (in Russian).
23. **Boronina L.V., Usynina A.E., Andrianov A.P.** Obosnovanie Neobkhodimosti Vnedreniya Membrannykh Tekhnologiy dlya Vodopodgotovki na Teploenergeticheskikh Predpriyatiyakh g. Astrakhani. Vestnik MGSU. 2012;11:198—203. (in Russian).

24. **Dvornikov V.** Strategies to Improve Desalination Plant Reliability // *Industrial Water Treatment*. 2013. No. 6. Pp. 14—17.
25. **Шаповалов Д.А.** Исследование и оптимизация режимов работы обратноосмотических установок в задачах построения ВПУ для ТЭС: дис. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во МЭИ, 2016.
26. **Седлов А.С. и др.** Термическая водоподготовка и переработка сточных вод для производств с высокими экологическими показателями // *Промышленная энергетика*. 1993. № 7. С. 18—22.
27. **Лоренц, К.Б., Шищенко В.В.** Термохимическая очистка сточных вод водоподготовительных установок // *Труды МЭИ*. 1994. № 671. С. 113—117.
28. **Седлов, А.С., Шищенко В.В., Игрушкин Е.М.** О качестве подготовки воды в многоступенчатых испарительных установках // *Энергетик*. 1996. № 8. С. 18—21.
29. **Хазиахметова Д.Р.** Разработка и исследование технологии умягчения и частичного обессоливания сточных вод ХОУ с использованием карбоксильных катионитов: дис. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
30. **Мощкарян А.А.** Совершенствование схем испарительных установок ТЭС. дис. ... канд. техн. наук. Иваново: Изд-во Ивановского гос. техн. энергетического ун-та им. В.И. Ленина, 2006.
31. **Богловский А.В. и др.** Организация водно-химического режима термической водоподготовки // *Теплоэнергетика*. 2007. № 7. С. 15—19.
32. **Седлов А.С. и др.** Опыт совершенствования технологий обессоливания на ТЭС // *Электрические станции*. 2010. № 10. С. 13—22.
33. **Васина Л.Г., Богловский А.В., Горбунов А.В.** Организация водно-химического режима испарительных установок // *Новое в российской электроэнергетике*. 2014. № 2. С. 26—37.
34. **Седлов А.С., Потапкина Е.Н., Гордеев А.А., Томашевская М.С.** Рациональное использование водных ресурсов при работе ТЭС // *Молодые ученые — ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: Сб. материалов III Всеросс. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием*. Ижевск: ИННОВА, 2015. С. 582—589.
35. **Седлов А.С. и др.** Технология обессоливания воды на ТЭС // *Состояние и перспективы развития электро- и теплоэнергетики: Материалы междунар. конф. XVIII Бенардовские чтения*. Иваново: Изд-во Ивановского гос. энергетического ун-та им. В.И. Ленина, 2015. С. 75—78.
36. **Потапкина Е.Н.** Исследование проблемы применения различных методов подготовки добавочной воды котлов на ТЭС со сбросом сточных вод. М.: ООО «АР-Консалт», 2019.
37. **Потапкина Е.Н., Васина Л.Г., Богловский А.В.** Сокращение временно согласованных сбросов про-
24. **Dvornikov V.** Strategies to Improve Desalination Plant Reliability. *Industrial Water Treatment*. 2013;6: 14—17.
25. **Shapovalov D.A.** Issledovanie i Optimizatsiya Rezhimov Raboty Obratnoosmoticheskikh Ustanovok v Zadachakh Postroeniya VPU dlya TES: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. M.: Izd-vo MEI, 2016. (in Russian).
26. **Sedlov A.S. i dr.** Termicheskaya Vodopodgotovka i Pererabotka Stochnykh vod dlya Proizvodstv s Vysokimi Ekologicheskimi Pokazatelyami. *Promyshlennaya Energetika*. 1993;7:18—22. (in Russian).
27. **Lorents, K.B., Shishchenko V.V.** Termokhimicheskaya Ochistka Stochnykh Vod Vodopodgotovitel'nykh Ustanovok. *Trudy MEI*. 1994;671:113—117. (in Russian).
28. **Sedlov, A.S., Shishchenko V.V., Igrushkin E.M.** O Kachestve Podgotovki Vody v Mnogostupenchatykh Isparitel'nykh Ustanovkakh. *Energetik*. 1996;8:18—21. (in Russian).
29. **Khaziakhmetova D.R.** Razrabotka i Issledovanie Tekhnologii Umyagcheniya i Chastichnogo Obessolivaniya Stochnykh Vod KHOU s Ispol'zovaniem Karboksil'nykh Kationitov: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. M.: Izd-vo MEI, 2005. (in Russian).
30. **Moshkarin A.A.** Sovershenstvovanie Skhem Isparitel'nykh Ustanovok TES. Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. Ivanovo: Izd-Vo Ivanovskogo Gos. Tekhn. Energeticheskogo Un-ta im. V.I. Lenina, 2006. (in Russian).
31. **Boglovskiy A.V. i dr.** Organizatsiya Vodno-khimicheskogo Rezhima Termicheskoy Vodopodgotovki. *Teploenergetika*. 2007;7:15—19. (in Russian).
32. **Sedlov A.S. i dr.** Opyt Sovershenstvovaniya Tekhnologiy Obessolivaniya na TES. *Elektricheskie Stantsii*. 2010;10:13—22. (in Russian).
33. **Vasina L.G., Boglovskiy A.V., Gorbunov A.V.** Organizatsiya Vodno-khimicheskogo Rezhima Isparitel'nykh Ustanovok. *Novoe v Rossiyskoy Elektroenergetike*. 2014;2:26—37. (in Russian).
34. **Sedlov A.S., Potapkina E.N., Gordeev A.A., Tomashevskaya M.S.** Ratsional'noe Ispol'zovanie Vodnykh Resursov pri Rabote TES. *Molodye Uchenye — Uskoreniyu Nauchno-tekhnicheskogo Progressa v XXI Veke: Sb. Materialov III Vseross. Nauch.-tekhn. Konf. Aspirantov, Magistrantov i Molodykh Uchenykh s Mezhdunar. Uchastiem*. Izhevsk: INNOVA, 2015:582—589. (in Russian).
35. **Sedlov A.S. i dr.** Tekhnologiya Obessolivaniya Vody na TES. *Sostoyanie i Perspektivy Razvitiya Elektro- i Teploenergetiki: Materialy Mezhdunar. Konf. XVIII Benardovskie Chteniya*. Ivanovo: Izd-vo Ivanovskogo Gos. Energeticheskogo Un-ta im. V.I. Lenina, 2015: 75—78. (in Russian).
36. **Potapkina E.N.** Issledovanie Problemy Prime-neniya Razlichnykh Metodov Podgotovki Dobavochnoy Vody Kotlov na TES so Sbrosom Stochnykh Vod. M.: ООО «AR-Konsalt», 2019. (in Russian).
37. **Potapkina E.N., Vasina L.G., Boglovskiy A.V.** Sokrashchenie Vremenno Soglasovannykh Sbrosov Pro-

дувки системы гидрозолоудаления ТЭЦ–22 ПАО Мос-энерго // Новое в российской электроэнергетике. 2016. № 12. С. 21—27.

38. **Потапкина Е.Н.** Опыт реализации ресурсосберегающих технологий водопользования ТЭС // Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики: Материалы I Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2021. С. 140—144.

duvki Sistemy Gidrozoloudaleniya TETS–22 PAO Mos-energo. Novoe v Rossiyskoy Elektroenergetike. 2016; 12:21—27. (in Russian).

38. **Potapkina E.N.** Opyt Realizatsii Resursosbergayushchikh Tekhnologiy Vodopol'zovaniya TES. Razvitiye Metodov Prikladnoy Matematiki dlya Resheniya Mezhdistsiplinarnykh Problem Energetiki: Materialy I Vseross. Nauch.-tekhn. Konf. s Mezhdunar. Uchastiem. Ul'yanovsk: Izd-vo UIGTU, 2021:140—144. (in Russian).

#### Сведения об авторе:

**Потапкина Елена Николаевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: PotapkinaYN@mpei.ru

#### Information about author:

**Potapkina Elena N.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: PotapkinaYN@mpei.ru

**Статья поступила в редакцию: 27.05.2022**

**The article received to the editor: 27.05.2022**

**Статья принята к публикации: 24.10.2022**

**The article has been accepted for publication: 24.10.2022**