

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.30.98.009

УДК 621.311.22

© А.В. Нехорошева, А.О. Сухова, И.В. Хорохорина, 2025

А.В. НЕХОРОШЕВА

лаборант

АО «Квадра», г. Тамбов

e-mail: nehoroshewa126@gmail.com



А. О. СУХОВА

канд. техн. наук,

доцент кафедры

ТамбГТУ, г. Тамбов

e-mail: apil1@yandex.ru



И. В. ХОРОХОРИНА

д-р техн. наук,

доцент кафедры

ТамбГТУ, г. Тамбов

e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru



МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЭС С ПОМОЩЬЮ ВНЕДРЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, НА ПРИМЕРЕ ТАМБОВСКОЙ ТЭЦ

Рассмотрена проблема образования сточных вод на теплоэлектростанциях на примере Тамбовской теплоэлектроцентрали. Установлены факторы превышения содержания некоторых загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водный объект. Рассмотрены и предложены к внедрению технологии, позволяющие снизить негативное влияние на окружающую среду, расходы сбрасываемой воды и содержание в сбросах загрязняющих веществ.

Ключевые слова: ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ИОННЫЙ ОБМЕН, ОБРАТНЫЙ ОСМОС, НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Теплоэлектростанции (ТЭС) являются основными потребителями воды среди промышленных объектов [1–4]. На долю ТЭС приходится более 90 % общего промышленного водопотребления. Аналогичная ситуация и по водоотведению. Поэтому проблема минимизации содержания загрязнений в сточных водах является весьма актуальной. Загрязнения сточных вод представлены растворимыми в воде соединениями (например, хлориды, сульфаты, нитриты) и нерастворимыми

(ионы металлов, взвешенные вещества) [5–7]. Отдельно следует отметить нефтепродукты — наиболее опасный и трудноудаляемый вид загрязнений [8, 9].

Цель настоящей работы — найти способы и возможности как снижения объемов сбрасываемых вод, так и количества загрязняющих веществ в сбрасываемых водах в реку Цну (г. Тамбов) через ручей Безымянный. Филиал ПАО «Квадра» — «Тамбовская генерация» для улучшения степени очистки

Таблица 1

Фоновые концентрации химических веществ р. Цна.

№	Наименование показателей	Единица измерения	Фоновые концентрации
1	Взвешенные вещества	мг/дм ³	11,3
2	Сухой остаток	мг/дм ³	509,4
3	БПК ₅	мг/дм ³	5,36
4	Железо общее	мг/дм ³	0,68
5	Хлориды	мг/дм ³	39,8
6	Сульфаты	мг/дм ³	88,1
7	Нитриты	мг/дм ³	0,17
8	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05
9	Гидразин	мг/дм ³	0
10	Азот аммонийный	мг/дм ³	1,14
11	Фосфаты	мг/дм ³	1,19
12	Жесткость	мг-экв/дм ³	5,9
13	Щелочность	мг-экв/дм ³	5,6

производственных промышленно-ливневых сточных вод, а также для соблюдения в сточных водах нормативов качества ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения планирует провести модернизацию имеющихся очистных сооружений — проектирование и установку новых очистных сооружений производственных промышленно-ливневых сточных вод. Данное мероприятие входит в план водоохранных мероприятий Тамбовской теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) по снижению концентрации загрязняющих веществ на сбросе сточных вод в водный объект на 2019–2024 г.

Водозабор на технологические нужды Тамбовской ТЭЦ осуществляется из реки Цна насосной станцией. Состав поступающей воды контролируется аккредитованной химической лабораторией ТЭЦ. Река Цна является водным объектом рыбохозяйственного значения высшей категории. Речная вода используется исключительно для промышленных целей. Забор воды на производственные нужды производится из реки Цны в объеме 5471,85 тыс. м³/год (нормативно-расчетное).

На Тамбовской ТЭЦ имеется обратная система водоснабжения с охлаждением воды в брызгальном бассейне (общая площадь

18 тыс. м²) и в башенной плёночной градирне, площадью орошения 1600 м². Восполнение систем оборотного водоснабжения на испарение и унос осуществляется речной водой. Вода используется в технологических системах охлаждения, водоподготовительных установках, для обмывок регенеративных воздухоподогревателей (РВП) и пиковых котлов, во вспомогательных производствах, на хозяйственно нужды.

Были проведены расчеты нормативов допустимых сбросов (НДС) для нормируемых к сбросу загрязняющих веществ и данных регулярных анализов сточных вод, проводимых аккредитованной для этих целей химической лабораторией ТЭЦ при периодическом контроле водоохранных органов. Также были определены уровни превышений фоновых концентраций в реку Цну по сравнению с рыбохозяйственными нормативами и уровни превышений концентраций сбрасываемых стационарных вод по сравнению с рассчитанными, согласованными и утвержденными компетентными органами нормативами допустимых сбросов в реку Цну через ручей Бзымянный.

Данные концентрации получены из отобранных проб воды на расстоянии 500 м

Таблица 2

Выпуск № 1 — промышленно-ливневые сточные воды

№	Наименование ингредиента	Максимальная концентрация, мг/дм ³
1	Водородный показатель рН	9,2
2	БПК ₅	6,1
	БПК _{пол}	8,723
3	Взвешенные вещества	16,8
4	Сухой остаток	581,0
5	Нитриты	0,26
6	Гидразин	отсутствует
7	Хлориды	41,5
8	Сульфаты	107,0
9	Железо общее	0,84
10	Нефтепродукты	0,2
11	Азот аммонийный / Ион аммония	1,9/2,375
12	Фосфаты / Фосфор фосфатов	1,3/0,424

Таблица 3

Выпуск № 2 — теплообменные сточные воды

№	Наименование ингредиента	Максимальная концентрация, мг/дм ³
1	Водородный показатель рН	9,7
2	БПК ₅	8,1
	БПК _{пол}	11,583
3	Взвешенные вещества	45,6
4	Сухой остаток	610
5	Нитриты	0,09
6	Гидразин	отсутствует
7	Хлориды	76
8	Сульфаты	129
9	Железо общее	0,53
10	Нефтепродукты	0,12
11	Азот аммонийный / Ион аммония	1,8 / 2,32
12	Фосфаты / фосфор фосфатов	2,6 / 0,848

выше места сброса по течению реки Цны и определены в химической лаборатории ТЭЦ. Из таблицы видно, что фон в створе водозабора не соответствует нормативам предельно-допустимых концентраций для вод

рыбохозяйственного назначения (ПДКр/х) по следующим показателям: БПК₅ (2,55 ПДКр/х), железо (6,8 ПДКр/х), нитриты (2,125 ПДКр/х), азот аммонийный (2,85 ПДКр/х), фосфаты (1,94 ПДКр/х).

Таблица 4

Установленный нормативный выпуск № 1 — сброс промышленных и ливневых сточных вод в р. Цна

№	Вещества и показатели состава воды	Класс опасности	ПДК р/х, мг/дм ³	Фоновая концентрация в водном объекте мг/дм ³	Фактическая концентрация в выпуске сточных вод (максим.), мг/дм ³	Допустимая концентрация в выпуске сточных вод, мг/дм ³
1	Взвешенные вещества	-	Фон+0,25 (11,55)	11,3	16,8	11,55
2	Минерализация (Сухой остаток)	-	1000,0	509,4	581,0	581,0
3	БПК ₅	-	2,1	5,36	6,1	2,1
	БПК _п	-	3,00	7,66	8,723	3,0
4	Хлорид-ион	4	300,00	39,8	41,5	41,5
5	Сульфат-ион	4	100,00	88,1	107,0	100,0
6	Гидразин	2	0,0003	0	отсутствует	0,0003
7	Нитрит-ион	4	0,08	0,17	0,26	0,08
8	Железо общее	4	0,10	0,68	0,84	0,10
9	Нефтепродукты	3	0,05	0,05	0,2	0,05
10	Азот аммонийный / ион аммония	4	0,4 / 0,5	0,14 / 1,425	1,9 / 2,375	0,4 / 0,5
11	Фосфаты (по Р)	4	0,613 / 0,2	0,19 / 0,388	1,3 / 0,424	0,613 / 0,2

По остальным показателям: взвешенные вещества, сухой остаток, хлориды, сульфаты, нефтепродукты, гидразин — фоновые концентрации соответствуют требованиям, предъявляемым к водным объектам рыбохозяйственной категории.

В сточных водах станции по выпуску № 1 отмечаются превышения нормативов ПДК р/х по следующим веществам (на основании средних показателей): БПК₅ на 2,0 мг/дм³, нитриты на 0,12 мг/дм³, железо на 0,44 мг/дм³, нефтепродукты на 0,02 мг/дм³, азот аммонийный на 0,5 мг/дм³, фосфаты (по Р) на 0,55 мг/дм³.

При расчете НДС для выпуска № 2 (теплообменные сточные воды) определяющим критерием являлись уровни загрязнений реки Цны в месте водозабора (приказ МПР от 17.12.2007 № 333 п. 10).

Превышения нормативов допустимых сбросов в сточных водах ТЭЦ отмечены по взвешенным веществам, биологическому потреблению кислорода, нефтепродуктам,

железу, сульфатам, нитритам, фосфатам, аммонийному азоту.

Следует отметить, что размер превышений относительно небольшой и имеет в основном случайный характер. Но, к сожалению, за критерий загрязнения берется максимальное за год значение содержания в аналитической пробе нормированного вещества.

Для выяснения причин превышения содержания в стоках ТЭЦ загрязняющих веществ было проведено обследование ТЭЦ (мазутохозяйство, колодцы, брызгальный бассейн, водозаборная станция, водовыпуск № 1 промливневой канализации в реку Цну через ручей Безымянный, место впадения ручья в реку Цну, близлежащие территории). На территории станции протечек сточных вод не обнаружено.

Водовыпуск № 1 в ручей Безымянный береговой, сосредоточенный, расположен с правого берега, диаметр выпуска — 0,8 м, расстояние от выпуска до берега — 0,7 м.

По выпуску № 1 производится сброс сточных вод с конденсаторов, компрессоров, пробоотборника, химического цеха и ливневых сточных вод с крыш, дорог, тротуаров. Сброс осуществляется относительно равномерно в течение суток, залповые сбросы отсутствуют. Количество сбрасываемых сточных вод определяется с помощью расходомера.

В промышленно-ливневую канализацию отводятся дождевые стоки с крыш зданий и сооружений, стоки химической водоочистки и условно — чистые производственные стоки. Стоки самотеком отводятся в реку Цну через ручей Безымянный.

Осмотр показал, что не имеет смысла добиваться переноса точек сброса сточных вод из-за наличия в примыкающей к месту сброса ТЭЦ сбросных устройств других водопользователей, поскольку актуальны только пробы воды, взятые непосредственно с выхода сбросного устройства (трубы) ТЭЦ. При этом следует периодически очищать сливное отверстие и близлежащий к нему участок дна ручья. При заилении выпускного отверстия трубы и заносе донными отложениями прилегающей к трубе площади результаты взятых анализов могут ухудшаться.

Водовыпуск № 2 — это теплообменные воды (воды с оборотной системы охлаждения конденсаторов турбин). Циркуляционный контур состоит из водоводов, насосной станции, водонагревателей (конденсаторы турбин) и водоохладителей (градирня БГ-1600 и 4 карты брызгального бассейна). Вода из циркуляционной системы забирается циркуляционными насосами и подается в конденсаторы турбин. Нагретая вода по напорным водоводам подается к водоохладителям (градирня и брызгальный бассейн), где она распыляется форсунками и охлаждается естественными потоками окружающего воздуха. Охлажденная вода собирается в чаше градирни, откуда по сбросному каналу подается на всас циркуляционных насосов и снова к конденсаторам турбин. Сброс сточных вод из секций брызгального бассейна должен производиться во время продувок секций по каналу и закрытому коллектору (длина 150 м).

Количество сбрасываемых сточных вод определяется объемом продувочной воды и объемом воды в секции брызгального бассейна. Нормативно-расчетный объем сточных вод по выпуску № 2 составляет 151,4 тыс. м³/год.

Документальная характеристика водовыпуска № 2 в ручей Безымянный — водовыпуск береговой, сосредоточенный, расположен с правого берега реки, не постоянный, диаметр выпускной трубы 0,5 м, расстояние от выпуска до берега 0,3 м. Фактически на станции не организован выпуск № 2 теплообменных вод в реку Цну через ручей Безымянный. Пробы теплообменной воды для анализов берутся на выходе из брызгального бассейна, далее вода стекает в близлежащую канаву и впитывается в почву. Водовыпуск № 2 необходимо соответствующим образом оборудовать.

Для предотвращения роста негативного влияния на окружающую среду, снижения расходов сбрасываемой воды и содержания в сбросах загрязняющих веществ был рассмотрен переход на наилучшие доступные технологии (НДТ), которые отвечают Концепции устойчивого развития (Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2021 г. N 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации»).

Одной из альтернативных технологий для поставленных задач является обратный осмос (ОО). Это метод очистки воды, при котором раствор проходит под давлением через специальную синтетическую мембрану, где задерживаются до 99% минеральных солей и примесей. Обратный осмос относится к наиболее перспективным и широко применяемым методам очистки и подготовки воды.

Пермеат — деминерализованная вода, получаемая ОО, которая по содержанию примесей годится в качестве добавочной воды для котлов среднего давления. Для барабанных котлов высокого давления требуется ее

Таблица 5

Расчетное качество пермеата и концентрата при подаче на УОО осветленной воды после осветлителя и механических фильтров.

Содержание загрязняющих веществ мг/дм ³			
	Осветленная вода	Пермеат	Концентрат
Cl	33,535	0,50	133,65
Ca	16,706	0,10	66,56
Mg	6,25	0,04	24,90
NO ₃	8,381	0,90	30,83
NH ₄	0,384	0,06	1,48
SO ₄	61,85	0,30	246,61
Na	56,137	1,33	221,85
SiO ₂	6,026	0,03	24,03
Солесодержание	180,45	3,42	72,021
Взвешенные	0,428	0	1,62

Таблица 6

Сравнительная характеристика основных параметров противоточной и прямоточной регенерации

Исходные данные	Ионный обмен с прямоточной регенерацией	Ионный обмен с противоточной регенерацией
Расход воды на собственные нужды, в % от объема очищенной воды	20	10
Расход реагентов на регенерацию, в % от стехиометрического	до 300	не более 150
Количество стоков, в % от объема воды	20	10
Возможность достичь заданного качества воды в одну ступень	нет	да
Степень использования объема фильтра, % от объема аппарата	60-70	90-95

доочистка. После доочистки пермеат может использоваться в качестве добавочной воды для установленных котлов. Концентрат — содержит поступающие на установку обратного осмоса (УОО) вещества в повышенной концентрации. При коэффициенте преобразования (отношение расхода пермеата к расходу исходной воды), равному 70–75% (в представленной УОО) концентрация веществ в концентрате в 4 раза выше, чем в исходной воде. В дальнейшем концентрат без дополнительной обработки может направляться в теплотель.

Методы промышленного обратного осмоса требуют использования заранее подготовленной воды, которая предварительно подвергается очистке от механических примесей и умягчается.

Замена прямоточного ионного обмена на противоточный также является переходом на НДТ. Спецификой прямоточного ионирования является пропуск в одном направлении исходной воды и регенерационного раствора.

Эффект улучшения качества фильтрата и снижения расхода реагентов при противотоке достигается за счет того, что, в первую

очередь, свежим раствором регенерируются наименее загрязненные выходные слои смолы. При этом избыток реагента в этих слоях, обеспечивающий глубину очистки воды, превышает расчетные в несколько раз. Кроме того, по мере продвижения регенерационного раствора в более истощенные слои создается равновесие между концентрацией десорбируемых ионов в растворе и слое, что исключает нежелательные повторные процессы сорбции-десорбции, характерные для прямотока.

При прямотоке минимальное и сравнительно высокое содержание удаляемых солей в обрабатываемой воде достигается уже при 40–60% истощения материала загрузки и далее резко возрастает.

Использование противотока в одну ступень позволяет получить минимальную остаточную концентрацию катионов и анионов. Причем нарастание последней идет плавно по мере истощения материала загрузки.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По выпуску № 1 промышленно-ливневых сточных вод в реку Цну через ручей Безымянный:

— регулярно очищать выпускное отверстие трубы и прилегающую к нему донную поверхность от иловых загрязнений;

— оборудовать накопительную емкость с использованием карты брызгального бассейна и установить комбинированный песко-нефтеуловитель.

По выпуску № 2 теплообменных вод:

— проложить трубопровод от брызгального бассейна до обозначенного на схеме водопользования места выпуска № 2 в ручей Безымянный;

— найти способ применения теплообменных сточных вод для городских нужд.

Установка приготовления добавочной котловой воды является основным источником солевых загрязнений сбрасываемых в водный объект сточных вод. По выбору способа снижения количества сточных вод и содержания в стоках химической водоочистки сделать однозначные выводы и дать какие-либо рекомендации затруднительно, поскольку многое зависит от материального обеспечения решения указанных проблем.

Если станция не предполагает в обозримом будущем переходить на наилучшие доступные технологии, то, очевидно, следует провести необходимую замену ионообменного материала и рассмотреть возможность проведения режимной наладки установки ионного обмена.

Если выбор будет сделан в пользу перехода на НДТ, то можно рекомендовать широко применяемые и хорошо зарекомендовавшие себя обратный осмос в сочетании с прямоточным ионообменом или противоточным ионообменом.

Перечисленные мероприятия позволят сократить объем сбрасываемых вод и снизить уровень содержания в них загрязняющих веществ до нормативно-допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапкина Е. Н. Основные направления сокращения водопотребления и сброса сточных вод при работе ТЭС // Альманах мировой науки. 2020. № 5(41). С. 6–8.
2. Седлов А. С., Шищенко В. В., Закиров И. А. Комплексная малоотходная ресурсосберегающая технология подготовки воды на Казанской ТЭЦ-3 // Теплоэнергетика. 2004. № 12. С. 19–22.
3. Андреева Т. Ю., Нор П. Е., Лангольф А. А. Пути снижения сбросов от предприятий теплоэнергетики // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск, 2018. С. 394–396.
4. Глебов И. А., Гончаров Е. С., Рябов С. И. Модернизация ТЭЦ, ТЭС и экономическая стабильность // Colloquium-Journal. 2019. № 19-1(43). С. 25–26.
5. Левин Е. В., Сагитов Р. Ф., Баширов В. Д. и др. Оптимальные пути модернизации существующих систем очистки сточных вод Сакмарской ТЭЦ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 220–222.

6. Лин М. М., Фарносова Е. Н., Каграманов Г. Г. Очистка сточных вод от тяжелых металлов методами нанофильтрации и ионного обмена // Химическая промышленность сегодня. 2017. № 8. С. 30–35.

7. Трус И. Н., Грабитченко В. Н., Гомеля Н. Д. Использование методов ионного обмена для деминерализации сточных вод // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2014. Т. 2. С. 30–32.

8. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Шарипов И. И. и др. Интенсификация очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов в отстойниках // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 6. С. 64–67.

9. Николаева Л. А. Очистка сточных вод ТЭС от нефтепродуктов гидрофобным карбонатным шламом // Теплоэнергетика. 2020. № 10. С. 79–85.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.30.98.009

UDC 621.311.22

© A. V. Nekhorosheva, A. O. Sukhova, I. V. Khorokhorina, 2025

A. V. NEKHOROSHEVA

Laboratory Assistant

JSC «Quadra», Tambov

e-mail: nehoroshewa126@gmail.com

A. O. SUKHOVA

Candidate of Engineering Sciences,

Associate Professor of Department

Tambov State Technical University,

Tambov

e-mail: apil1@yandex.ru

I. V. KHOROKHORINA

Doctor of Engineering Sciences,

Associate Professor of Department

Tambov State Technical University,

Tambov

e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru

MODERNIZATION OF A THERMAL POWER PLANT THROUGH THE INTRODUCTION OF THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES, USING THE EXAMPLE OF THE TAMBOV CHPP

The problem of wastewater generation at thermal power plants is considered using the example of the Tambov thermal power plant. The factors for exceeding the content of certain pollutants in wastewater discharged into a water body have been established. Technologies have been reviewed and proposed for implementation to reduce the negative impact on the environment, the consumption of discharged water and the content of pollutants in discharges.

Keywords: THERMAL POWER PLANT, WASTEWATER, ION EXCHANGE, REVERSE OSMOSIS, BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES.

REFERENCES

1. Potapkina E. N. The main directions of reducing water consumption and wastewater discharge during the operation of thermal power plants // Almanac of World Science [Almanakh mirovoy nauki]. 2020. No. 5(41). P. 6–8. [In Russ.].
2. Sedlov A. S., Shishchenko V. V., Zakirov I. A. Complex low-waste resource-saving technology of water treatment at Kazan CHPP-3 // Thermal Power Engineering [Teploenergetika]. 2004. No. 12. P. 19–22. [In Russ.].
3. Andreeva T. Yu., Nor P. E., Langolf A. A. Ways to reduce discharges from thermal power plants // Topical issues of energy: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation [Aktualnyye voprosy energetiki: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem]. Omsk, 2018. P. 394–396. [In Russ.].
4. Glebov I. A., Goncharov E. S., Ryabov S. I. Modernization of thermal power plants, thermal power plants and economic stability // Colloquium-Journal. 2019. № 19-1(43). P. 25–26. [In Russ.].
5. Levin E. V., Sagitov R. F., Bashirov V. D. and others Optimal ways to modernize existing wastewater treatment systems at Sakmarskaya TPP // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University [Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta]. 2017. No. 6 (68). P. 220–222. [In Russ.].
6. Lin M. M., Farnosova E. N., Kagramanov G. G. Wastewater treatment from heavy metals by nanofiltration and ion exchange methods // Chemical Industry Today [Khimicheskaya promyshlennost segodnya]. 2017. No. 8. P. 30–35. [In Russ.].
7. Trus I. N., Grabitchenko V. N., Gomelya N. D. The use of ion exchange methods for wastewater demineralization // Innovative technologies: theory, tools, practice [Innovatsionnyye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika]. 2014. Vol. 2. P. 30–32. [In Russ.].
8. Zinnurov V. E., Dmitriev A. V., Sharipov I. I. and others. Intensification of wastewater treatment of thermal power plants from petroleum products in settling tanks // Bulletin of the Technological University [Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta]. 2020. Vol. 23. No. 6. P. 64–67. [In Russ.].
9. Nikolaeva L. A. Wastewater treatment of thermal power plants from petroleum products with hydrophobic carbonate sludge // Thermal power engineering [Teploenergetika]. 2020. No. 10. P. 79–85. [In Russ.].