

УДК 621.187.11

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЭС*

В.В. КОЗЛОВСКИЙ¹, А.Б. ЛАРИН²¹ ООО «Водные технологии-инжиниринг», г. Москва, Российская Федерация² ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация

E-mail: kozlovsky_vti@mail.ru; yaandy_81@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса. Для предотвращения накипеобразования на внутренних поверхностях конденсатора и теплообменного оборудования в настоящее время на ТЭС с системами оборотного охлаждения часто применяется коррекционная обработка с добавлением серной кислоты, для подкисления подпиточной воды и снижения ее щелочности и щелочности оборотной воды, а также с дозированием оксиэтилидендифосфоновой кислоты для предотвращения образования накипных отложений. Существующая коррекционная обработка не обеспечивает необходимой степени защиты теплообменного оборудования от накипеобразования. При данном методе очистки невозможно полностью удалить отложения с поверхности трубок до «чистого» металла, в продувочной воде часто отмечается превышение допустимой концентрации сульфатов. Для повышения эффективности мероприятий водного режима необходимо разработать методику расчета и создать опытную установку для исследования состояния ВХР в отношении накипеобразования и коррозии непосредственно в промышленных условиях, что и является целью данной работы.

Материалы и методы. Исследование коррозионной агрессивности оборотной воды проведено на стенде, моделирующем работу систем оборотного охлаждения, где в змеевик, имитирующий движение воды внутри теплообменных аппаратов, устанавливались образцы-свидетели скорости коррозии из углеродистой стали и латуни. Количественная оценка биологической зараженности оборотной воды системы охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт проведена при помощи экспресс-тестов на общее микробное число.

Результаты. Для оценки вероятности протекания процессов отложения карбонатных солей на теплообменном оборудовании предложена методика расчета существующих значений коэффициента стабилизации (транспорта кальция). Предложенная методика использована для оценки состояния ВХР систем оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт. Установлены расчетом и подтверждены данными химических анализов воды и отложений на контрольных образцах повышенные значения массы отложений (коэффициент стабилизации менее 85 %), в том числе биологического характера (превышение общего микробного числа сверх 10^4 КОЕ/мл). Показано, что коррозионная агрессивность оборотной воды повышена, скорость коррозии образцов стали Ст. 20 превышает нормативные значения (0,1 мм/год).

Выводы. Разработанная методика может эффективно использоваться для анализа состояния как действующего водного режима систем оборотного охлаждения, так и любого другого (альтернативно) ВХР непосредственно в промышленных условиях эксплуатации конкретной ТЭС.

Ключевые слова: система оборотного охлаждения, водно-химический режим, ингибиторы отложений и коррозии, коррекционная обработка, математическая модель

METHODS OF MONITORING WATER CONDITIONS OF THE CIRCULATORY COOLING SYSTEM OF A COMBINED HEAT AND POWER PLANT

V.V. KOZLOVSKY¹, A.B. LARIN²¹ LLC «Water Technologies-Engineering», Moscow, Russian Federation² Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

E-mail: kozlovsky_vti@mail.ru; yaandy_81@mail.ru

Abstract

Background. A common method of preventing scale formation on the internal surfaces of the condenser and heat exchangers at thermal power plants with circulatory cooling systems (CCS) is correctional treatment with an addition of sulfuric acid for acidifying make-up water and reducing its alkalinity and the alkalinity

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-08-00441.

of recycled water and dosing of oxyethylidenediphosphonic acid (OEDFK) for preventing scale deposit formation. The existing method of correction treatment does not provide the necessary degree of heat exchange equipment protection from scale formation. With this method of cleaning, it is impossible to completely remove deposits from the surface of the tubes to «pure» metal; the concentration of sulfates in the purge water often exceeds the permissible level. Improving the efficiency of water conditions requires developing a calculation method and creating a pilot plant for monitoring scale formation and corrosion through estimation of water chemistry directly in industrial conditions, which is the goal of this work.

Materials and methods. The circulating water corrosivity was studied on a stand that simulates the operation of circulatory cooling systems. The coil simulating water movement inside heat exchangers contained carbon steel and brass corrosion rate witness plates. A quantitative assessment of the biological contamination of the circulating water of the cooling system of the CCPP ПГУ-450 MW was carried out using total bacterial count (TBC) express tests.

Results. To estimate the probability of carbonate salt deposition in heat exchange equipment, we have proposed a method of calculating the existing values of the stabilization factor (calcium transport). The proposed method has been used to estimate the state of water chemistry of the circulatory cooling system of CHP PGU-450 MW. Calculations confirmed by the data of chemical analyzes of water and deposits have shown increased deposit mass values on the control samples (stabilization factor less than 85%), including biological ones (the total bacterial count exceeded the permissible value by over 104 CFU / ml). The circulating water corrosivity also increased, and the corrosion rate of steel st. 20 exceeded the standard values (0,1 mm / year).

Conclusions. The developed technique can be effectively used for analyzing the state of both the existing water conditions of circulatory cooling systems, and any other (alternative) water chemistry directly in industrial conditions of operation of a certain CCPP.

Key words: circulatory cooling system (CCS), water chemistry conditions, scale and corrosion inhibitors, correction treatment, mathematical model

DOI: 10.17588/2072-2672.2019.3.014-021

Введение. Системы оборотного охлаждения (СОО) конденсаторов турбин характеризуются большими расходами циркулирующей охлаждающей воды. При эксплуатации оборотных систем за счет многократного нагрева и последующего охлаждения оборотной воды на градирнях происходит ее упаривание и концентрирование в ней различных солей, в том числе и солей жесткости (CaCO_3) [1, 2]. Для восполнения потерь в систему охлаждения подается добавочная (подпиточная) вода.

Отклонения нормируемых показателей качества оборотной воды, происходящие из-за ненадлежащего качества подпиточной (добавочной) воды, сезонных факторов, естественного развития микробиологических загрязнений, отсутствия или недостаточной эффективности корректирующей обработки, а также из-за изменения режимов эксплуатации системы оборотного охлаждения, приводят к загрязнению теплообменных поверхностей и трубопроводов отложениями органического и минерального характера, а также к интенсификации коррозионных процессов углеродистых сталей и медных сплавов. При эксплуатации оборотных систем охлаждения обеспечиваются благоприятные условия для развития водорослей, микроорганизмов и грибов, а отсутствие бактерицидной

обработки приводит к биологическому обрастанию градирен и теплообменного оборудования. Эти биологические загрязнения изолируют поверхность теплообменного и водоохлаждающего оборудования, снижая эффективность его работы (теплосъем), при этом возрастают эксплуатационные затраты на обслуживание и очистку оборудования. Под биологическими обрастаниями (биоотложениями), выполняющими роль защитной оболочки, интенсивно развиваются колонии анаэробных бактерий (железобактерий, сульфатредуцирующих, нитрофицирующих и др.), которые в процессе своей жизнедеятельности вызывают питтинговую и язвенную коррозию металлов.

Эффективным способом снижения накипеобразующих и коррозионных свойств воды оборотных систем охлаждения энергетических объектов является стабилизационная (корректирующая) обработка охлаждающей воды ингибиторами коррозии и накипеобразования. Для подавления биологических загрязнений и обрастаний применяются программы бактерицидной обработки [2–4]¹.

¹ РД 34.22.501-87. Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке.

Учет факторов, влияющих на работу систем оборотного охлаждения и подбор эффективной программы коррекционной обработки воды системы оборотного охлаждения, позволяет повысить надежность, экономичность и ресурс работы водоохлаждаемого оборудования ТЭС [5, 6].

Для предотвращения накипеобразования на внутренних поверхностях конденсатора и теплообменного оборудования в настоящее время на ТЭЦ ПГУ-450 МВт применяется коррекционная обработка с добавлением серной кислоты для подкисления подпиточной воды и снижения ее щелочности и жесткости оборотной воды, а также дозирование оксиэтилидендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) для предотвращения образования накипных отложений. Некоторые показатели качества подпиточной и циркуляционной воды приведены в табл. 1.

Таблица 1. Среднегодовые (2018 г.) показатели качества подпиточной и циркуляционной воды СОО ТЭЦ ПГУ-450 МВт

Показатель	Размерность	Подпиточная вода	Циркуляционная вода
Жесткость общая (Ж _о)	мг-экв/дм ³	4,6	9,7
Щелочность общая (Щ _о)	мг-экв/дм ³	3,8	9,5
Концентрация хлоридов	мг/дм ³	18,8	51,9
Концентрация сульфатов	мг/дм ³	31,7	165,5
Концентрация фосфатов	мг/дм ³	0,5	2,1

Высокая щелочность подпиточной (речной) воды обуславливает значительный расход серной кислоты (не менее 36 тонн в год) для снижения щелочности исходной воды. Из-за большого расхода серной кислоты наблюдается повышенная коррозия отдельных элементов системы оборотного охлаждения, а в продувочной (сточной) воде периодически наблюдаются превышения допустимых показателей по некоторым веществам, в том числе и производным серной кислоты, что влечет за собой штрафные санкции для ТЭЦ. Су-

ществующая коррекционная обработка малозффективна и не обеспечивает необходимой степени защиты теплообменного оборудования от накипеобразования. Один раз в год для удаления отложений с внутренних поверхностей трубок конденсатора и вспомогательного теплообменного оборудования проводится механическая очистка при помощи фрезы, насаженной на конец гибкого вала и приводимой в движение электродвигателем. При данном методе очистки невозможно полностью удалить отложения с поверхности трубок до «чистого» металла.

Обработка оборотной воды системы охлаждения ОЭДФК и серной кислотой не предотвращает образование биологических обрастаний на внутренних поверхностях трубок конденсатора, теплообменного оборудования и элементах градирен. Для удаления биологических отложений и предотвращения образования различных видов минеральных отложений в трубках конденсатора предусмотрена система шариковой очистки (СШО). СШО включается в работу ежедневно на период до четырех часов. В СШО используются два типа эластичных шариков из пористой резины: нормальные – для удаления органических отложений, и абразивные с корундовым покрытием – для удаления незначительных островных отложений.

Методы исследования. Для оценки состояния водно-химического режима (ВХР) СОО конденсатора паровой турбины разработана методика расчетно-экспериментального исследования. В расчетной части оценивается возможность образования отложений путем расчета коэффициента упаривания и коэффициента стабилизации, в экспериментальной части оценивается коррозионная агрессивность и биологическая загрязненность циркуляционной воды с использованием специального стенда и лабораторных анализов. Такая методика позволяет дать объективную оценку состояния ВХР как при существующей, так и при новой технологии реагентной обработки циркуляционной воды. Реализация методики проводится непосредственно в промышленных условиях и представлена на примере ТЭУ с блоком ПГУ-450. Структурная схема методики исследований представлена на рис. 1.

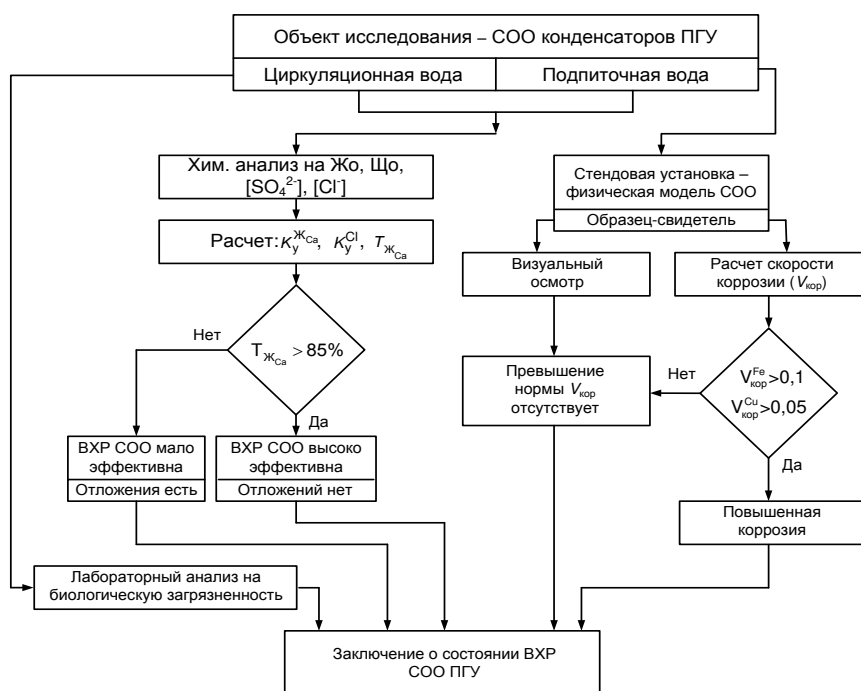


Рис. 1. Структурная схема методики промышленных исследований состояния водно-химического режима системы оборотного охлаждения паротурбинной установки ТЭС

На основании данных аналитического контроля оборотной и подпиточной воды рассчитывались коэффициенты упаривания (концентрирования) по значению кальциевой жесткости и содержанию хлоридов. Расчет коэффициентов упаривания проводился по следующим формулам:

$$K_y^{ЖCa} = \frac{Ж_{Ca_{об}}}{Ж_{Ca_{подп}}}; K_y^{Cl} = \frac{Cl_{об}}{Cl_{подп}},$$

где $Ж_{Ca_{об}}$, $Ж_{Ca_{подп}}$, $Cl_{об}$, $Cl_{подп}$ – кальциевая жесткость и содержание хлоридов в оборотной и подпиточной воде соответственно.

В результате проведенных расчетов выявлено, что в 2017–2018 годах система оборотного водоснабжения ТЭЦ ПГУ-450 МВт работала с коэффициентами упаривания, рассчитанным по содержанию хлоридов, 2,11–3,43 ед., среднее значение коэффициента упаривания составило 2,8 ед.

Для оценки вероятности протекания процессов отложения карбонатных солей на теплообменном оборудовании и трубопроводах на основании данных аналитического контроля качества оборотной и подпиточной воды был проведен расчет существующих значений коэффициента стабилизации транспорта кальция. Данный

параметр позволяет оценить, какое количество солей (накипи) из подпиточной воды откладывается в виде отложений на теплообменном оборудовании, а какое остается в объеме оборотной воды. Расчет коэффициента стабилизации основан на сравнении коэффициентов упаривания, рассчитанных по значениям кальциевой жесткости и содержанию хлоридов:

$$T_{ЖCa} = \frac{K_y^{ЖCa}}{K_y^{Cl}} \cdot 100\%,$$

где $K_y^{ЖCa}$; K_y^{Cl} – коэффициенты упаривания, рассчитанные по значению кальциевой жесткости и содержанию хлоридов.

Расчет коэффициента стабилизации напрямую связан с оценкой эффективности реагентной (коррекционной) обработки оборотной воды². По СО 34.37.536-2004, эффективность реагентной обработки оценивается путем сравнения общей жесткости циркуляционной (оборотной) воды $Ж_{ц.в}$ с расчетным значением $(Ж_{ц.в})_{расч}$:

$$(Ж_{ц.в})_{расч} = K_y Ж_{доб},$$

² СО 34.37.536-2004. Методические рекомендации по применению антيناкипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России».

где K_y – коэффициент упаривания воды, рассчитанный на основании содержания хлоридов и определяемый по формуле

$$K_y = \frac{C_{\text{ц.в.}}}{C_{\text{доб}}},$$

где $C_{\text{ц.в.}}$, $C_{\text{доб}}$ – содержание хлоридов в циркуляционной и добавочной воде, мг/дм³.

Выполнение условия $\Delta J = (J_{\text{ц.в.}})_{\text{расч}} - J_{\text{ц.в.}} < 0,3$ мг-экв/дм³ свидетельствует об отсутствии накипеобразования в трубах теплообменников циркуляционной системы.

При эффективной реагентной обработке коэффициент упаривания по общей или кальциевой жесткости должен быть практически равен коэффициенту упаривания по хлоридам или их отношение (коэффициент стабилизации) должно стремиться к 100 %. Из практики реагентной обработки оборотных систем охлаждения допустимое значение коэффициента стабилизации (транспорта кальция) должно составлять не менее 85 %.

На основании расчетов было установлено, что среднее значение коэффициента стабилизации для системы оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт составит 74 %. Высокие накипеобразующие свойства оборотной воды системы охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт и недостаточная эффективность существующей корректирующей обработки подтверждаются результатами осмотра трубок конденсатора и вспомогательного теплообменного оборудования, а также результатами качественного анализа отложений.

Для оценки коррозионной агрессивности оборотной воды разработан стенд, моделирующий работу оборотной системы охлаждения. В состав стенда входят: емкость 105 литров, которая заполняется подпиточной водой СОО Калининградской ТЭЦ-2; циркуляционный насос; ротаметр для контроля скорости потока воды; тепловой электронагреватель (ТЭН), имитирующий подогрев циркуляционной воды, с термодатчиком и регулятором; система размещения контрольных купонов для определения скорости коррозии и интенсивности накипеобразования; вентилятор для противоточного охлаждения воды, проходящей через оросителя – имитацию градирни (рис. 2).

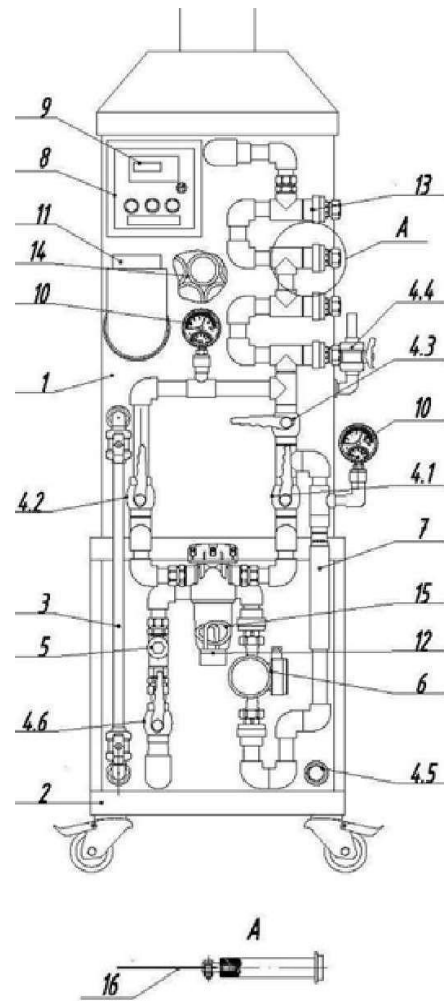


Рис. 2. Схема стендовой установки, моделирующей работу системы оборотного охлаждения: 1 – бак; 2 – тележка на колесах; 3 – уровнемер; 4.1–4.6 – вентиль; 5 – сетчатый фильтр; 6 – циркуляционный насос; 7 – ротаметр; 8 – ящик КИПиА; 9 – измеритель-регулятор многофункциональный одноканальный; 10 – термоманометр; 11 – вентилятор трубный; 12 – термодатчик; 13 – змеевик с 4-мя купондержателями; 14 – насадка – кольца Палая; 15 – нагревательный элемент (ТЭН) с прокладкой; 16 – индикатор коррозии

В ходе испытаний емкость (объем 105 литров) заполнялась реальной подпиточной водой. Вода из основной емкости через сетчатый фильтр грубой очистки циркуляционным насосом через регулирующий кран подавалась на ротаметр с расходом 1,2–1,3 м³/ч. После ротаметра вода проходила термометры и ТЭН. Степень нагрева ТЭНа регулировалась при помощи терморегулирующего прибора, включенного последовательно ТЭНу. Во время испытаний обеспечивалась температура нагрева циркулирующей воды не более 45°C. При прохождении воды через ТЭН она со-

прикасалась с поверхностью нагревательного элемента, в результате чего вода нагревалась. Далее теплая вода проходила через систему контроля коррозии (гнезда для установки образцов свидетелей – купонов) и ороситель, где через воду продувался воздух, нагнетаемый вентилятором. При контакте теплой воды и воздуха происходило охлаждение воды за счет ее частичного испарения, т.е. упаривание воды. Охлажденная вода сливалась в бак, и далее цикл повторялся.

Образцы-свидетели скорости коррозии из углеродистой стали и латуни устанавливались в период с 31 июля по 18 сентября, а также с 19 сентября по 30 октября 2018 года. Установка и съем образцов-свидетелей производились в присутствии специалистов ТЭЦ ПГУ-450 МВт. Обработка образцов и их анализ проводились в лаборатории химического цеха ТЭЦ.

Расчет скорости коррозии проводили по формуле

$$V_{\text{кор}} = \frac{8760 \cdot 10 \cdot (m_0 - m)}{S t \rho} \text{ мм/г,}$$

где m_0 , m – масса образца до и после экспозиции, г; S – площадь образца, см^2 ; t – время экспозиции образца, час; ρ – плотность материала образца, г/см^3 .

Нормативное значение скорости коррозии, в соответствии с ГОСТ Р 9.502-82, для углеродистой стали составляет не более 0,1 мм/год, а для латуни – не более 0,05 мм/год. В табл. 2 представлены расчетные значения скорости коррозии после экспозиции при существующих условиях работы системы оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт.

Таблица 2. Скорости коррозии образцов-свидетелей после экспозиции в системе оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт

Период экспозиции	31 июля – 18 сентября 2018 г.			19 сентября – 30 октября 2018 г.	
	Ст. 20	Ст. 20	Латунь	Ст. 20	Латунь
Скорость коррозии, мм/год	0,1064	0,0993	0,0037	0,1219	0,0142

Визуальный осмотр образцов-свидетелей из углеродистой стали (Ст. 20) после экспозиции в системе оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт показал, что коррозионные поражения образцов значительные, коррозия носит местный

(неравномерный) характер³. На образцах присутствовали плотные отложения продуктов коррозии, занимавшие до 80 % поверхности, а также отложения механических примесей и шлама. Средняя скорость коррозии по трем образцам из углеродистой стали превысила нормативное значение (0,1 мм/год) и составила 0,1099 мм/год. На поверхности образцов из латуни явных коррозионных поражений обнаружено не было, коррозия носила равномерный характер. Значение скорости коррозии по двум образцам из латуни не превысило нормативное (0,05 мм/год) и составило 0,0089 мм/год. На образцах были обнаружены отложения в виде механических примесей и шлама. Количественная оценка биологической зараженности оборотной воды системы охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт проводилась при помощи экспресс-тестов на общее микробное число (ОМЧ), а также на основании анализов на колиформные и термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, возбудители кишечных заболеваний и жизнеспособные яйца гельминтов, которые выполнялись ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии». Визуальная оценка биообрастаний проводилась на основании осмотра элементов градирен.

Для определения биологической загрязненности оборотной воды использовались дип-слайды (экспресс-тесты). Дип-слайды применяются для определения общего микробного числа (ОМЧ), грибков и количества дрожжей. Отбор проб для определения биологической загрязненности оборотной воды осуществлялся в чаше Градирни №1 19 сентября 2018 года. По результатам контроля было выявлено, что общее микробное число в оборотной воде системы охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт находится на уровне 10^4 – 10^5 КОЕ/мл, что незначительно превышает норму для открытых систем охлаждения в 10^4 КОЕ/мл. Также было обнаружено присутствие дрожжей и грибков на уровне 10^3 КОЕ/мл, что является недопустимым.

На основании результатов контроля биологической загрязненности можно сделать вывод, что общее микробное число в

³ ГОСТ 9.905-2007. Методы коррозионных испытаний. Общие требования; ГОСТ 9.908-85. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

оборотной воде ТЭЦ ПГУ-450 МВт повышенное, но среди бактерий отсутствуют колиформные и термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, возбудители кишечных заболеваний и жизнеспособные яйца гельминтов. На элементах градирен присутствуют биологические отложения в виде слизи (биопленки), под которыми могут развиваться колонии анаэробных бактерий, приводящие к интенсификации коррозионных процессов металлов и конструкционных материалов градирен. Повышенному содержанию бактерий и их развитию в оборотной воде способствует отсутствие биоцидной обработки оборотной воды и подпиточной воды.

Выводы. Разработанная методика расчетно-экспериментальной оценки состояния водного режима СОО была апробирована на промышленной ТЭЦ ПГУ-450 МВт. В ходе анализа существующего режима работы системы оборотного охлаждения ТЭЦ ПГУ-450 МВт и коррекционной обработки оборотной воды было выявлено следующее:

- оборотная вода обладает повышенной накипеобразующей способностью, в результате чего происходит интенсивное образование карбонатных отложений на внутренних поверхностях трубок конденсаторов и вспомогательного теплообменного оборудования, снижающих эффективность работы основного энергетического оборудования;

- существующая коррекционная обработка воды недостаточно эффективна, а максимальные дозировки реагентов ограничиваются экологическими требованиями к продувочной (сточной) воде;

- биозагрязненность оборотной воды повышенная, на элементах градирен присутствуют биологические обрастания;

- коррозионная агрессивность оборотной воды повышенная, существует риск развития подшламовой, биологической и язвенной коррозии.

Таким образом, разработанная методика может эффективно использоваться для анализа состояния как действующего водного режима СОО, так и любого другого (альтернативного) ВХР непосредственно в промышленных условиях эксплуатации конкретной ТЭС. В качестве альтернативного водного режима может использоваться режим с дозировками хлорамина,

втиамина или другого ингибитора коррозии и накипеобразования⁴.

Список литературы

1. Копылов А.С., Очков В.Ф., Чудова Ю.В. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 22 с.
2. Методологические аспекты выбора реагентов для предотвращения минеральных отложений / Б.Н. Дрикер, А.И. Мурашова, А.Г. Тарантаев, А.Ф. Никифоров // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 2(88). – С. 2–4.
3. Дрикер Б.Н., Микрюков А.В., Трантаев А.Г. Опыт применения композиций на основе органофосфонатов для стабилизационной обработки воды в энергетике и металлургии // Водоснабжение и канализация. – 2014. – № 1–2. – С. 60–62.
4. Кузнецова О.Ю., Данилина Н.И. Очистка и обеззараживание воды бактерицидным полиэлектролитом // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 10. – С. 8–10.
5. Петрова Т.И., Репин Д.А. Факторы, влияющие на работу оборотных систем охлаждения тепловых станций // Вестник МЭИ. – 2009. – № 1. – С. 106–111.
6. Комплексные реагенты на основе аминов / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, И.А. Сергеев и др. // Теплоэнергетика. – 2017. – № 3. – С. 92–96.

References

1. Kopylov, A.S., Ochkov, V.F., Chudova, Yu.V. *Protsessy i apparaty peredovykh tekhnologiy vodopodgotovki i ikh programmirovannyye raschety* [Processes and devices of advanced water treatment technologies and their programming]. Moscow: Izdatel'skiy Dom MEI, 2009. 22 p.
2. Driker, B.N., Murashova, A.I., Tarantaev, A.G., Nikiforov, A.F. *Metodologicheskie aspekty vybora reagentov dlya predotvrashcheniya mineral'nykh otlozheniy* [Methodological aspects of selecting reagents for preventing mineral deposits]. *Energoberezhnie i vodopodgotovka*, 2014, no. 2(88), pp. 2–4.

⁴ РД 34.22.501-87. Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке; СО 34.37.536-2004 Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России»; ГОСТ 9.905-2007. Методы коррозионных испытаний. Общие требования.

3. Driker, B.N., Mikryukov, A.V., Trantsev, A.G. Opyt primeneniya kompozitsiy na osnove or-ganofosfonatov dlya stabilizatsionnoy obrabotki vody v energetike i metallurgii [Experience of using compositions based on organophosphonates for stabilization treatment of water in power industry and metallurgy]. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*, 2014, no. 1–2, pp. 60–62.

4. Kuznetsova O.Yu., Danilina N.I. Ochistka i obezzarazhivanie vody bakteritsidnym polielektrolitom [Cleaning and disinfection of water with a bactericidal polyelectrolyte]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2000, no. 10, pp. 8–10.

5. Petrova, T.I., Repin, D.A. Faktory, vliyayushchie na rabotu oborotnykh sistem *okhlazhdeniya* teplovykh stantsiy [Factors affecting the work of circulatory cooling systems of thermal power plants]. *Vestnik MEI*, 2009, no. 1, pp. 106–111.

6. Suslov, S.Yu., Kirilina, A.V., Sergeev, I.A., Zezyulya, T.V., Sokolova, E.A., Eremina, E.V., Timofeev, N.V. Kompleksnye reagenty na osnove aminov [Amine-based complex reagents]. *Teploenergetika*, 2017, no. 3, pp. 92–96.

Козловский Владислав Вадимович,

ООО «Водные технологии-инжиниринг», инженер 1-й категории, e-mail: kozlovsky_vti@mail.ru

Kozlovsky Vladislav Vadimovich,

LLC «Water Technologies-Engineering», first class engineer, e-mail: kozlovsky_vti@mail.ru

Ларин Андрей Борисович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике, e-mail: yaandy_81@mail.ru

Larin Andrei Borisovich,

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences (Post-doctoral degree), Associate-Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in Power Engineering, e-mail: yaandy_81@mail.ru