



## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЕЙ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

Веселовская Е.В., Лазарева Е.А.

ФГБОУ «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия  
tes252@yandex.ru

**Резюме:** *АКТУАЛЬНОСТЬ* данного исследования заключается в необходимости сохранения в процессе эксплуатации градирен их проектной эффективности охлаждения, а также недопущения снижения механической прочности оросителей в результате образования отложений, способствующих ухудшению условий теплообмена и прочностных характеристик конструктивных элементов. **ЦЕЛЬ.** Повышение эффективности теплообмена в процессах охлаждения циркуляционной воды при использовании на ТЭС башенных градирен. **МЕТОДЫ.** Для достижения поставленных целей были проведены комплексные исследования проб циркуляционной воды и отложений, образующихся на оросителях башенных градирен, классическими методами физико-химического и элементного анализов, а также исследования отложений методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Отслежена связь между показателями охлаждающей воды и характером образующихся на оросителях отложений, в частности доли кристаллических и неорганизованных аморфных структур. Дана оценка стабильности охлаждающей воды с помощью индексов Ланжелье и Ризнера. Проведены результаты микробиологических анализов охлаждающей воды, включающих определение общего числа микроорганизмов и общих колиморфных бактерий. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Сделаны выводы о степени достаточности проводимой обработки охлаждающей воды и даны рекомендации по ее оптимизации, в частности, целесообразности применения сниженных доз биоразлагаемых биоцидных реагентов, в том числе, в условиях предварительного дозирования катионных флокулянтов.

**Ключевые слова:** тепловые электрические станции; башенные градирни; системы оборотного охлаждения; стабильность охлаждающей воды.

**Для цитирования:** Веселовская Е.В., Лазарева Е.А. Исследование структуры и химического состава отложений оросителей башенной градирни // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 4. С. 115-123. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-4-115-123.

## INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF SEDIMENTS OF IRRIGATORS OF THE TOWER COOLING TOWER

Veselovskaya E.V., Lazareva E.A.

Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia  
tes252@yandex.ru

**Abstract:** *RELEVANCE.* The relevance of this study lies in the need to preserve their design cooling efficiency during the operation of cooling towers, as well as to prevent a decrease in the mechanical strength of sprinklers as a result of the formation of deposits that contribute to the deterioration of heat exchange conditions and strength characteristics of structural elements. **OBJECT.** Increasing the efficiency of heat transfer in the cooling processes of circulating water when using tower cooling towers at thermal power plants. **METHODS.** To achieve these goals, comprehensive studies of samples of circulating water and sediments formed on the sprinklers of tower cooling towers were carried out using classical methods of physico-chemical and elemental analyses, as well as sediment studies using X-ray diffraction analysis and electron microscopy. **RESULTS.** The relationship between the parameters of cooling water and the nature of sediments

formed on the sprinklers, in particular the proportion of crystalline and non-organic ones, has been tracked. A method of highly effective pretreatment of source water with biodegradable biocidal reagents was considered in detail, since the existing disinfection method does not prevent the development of colonies of microorganisms on cooling tower sprinklers. The effectiveness of the use of the biodegradable THPS reagent, which is relatively safe for the environment in comparison with oxidizing biocides and classic bromine-based preparations, was studied in laboratory conditions. Laboratory studies were conducted in accordance with the interstate standard and included the determination of the total number of microorganisms and common colimorphic bacteria. Studies have shown that THPS treatment allows for the complete presence of microorganisms in cooling water samples. Biocidal treatment was carried out with reduced concentrations of the reagent (up to 30 mg/l) in a wide pH range (from 6.5 to 9.0 units). Experiments have shown high efficacy of the drug in a wide pH range even when it is dosed in small doses and a decrease in the effectiveness of this biocide when using increased concentrations of cationic flocculants used at the stage of pretreatment of river water.

**Keywords:** thermal power plants; tower cooling towers; circulating cooling systems; cooling water stability.

**For citation:** Veselovskaya E.V., Lazareva E.A. Investigation of the structure and chemical composition of sediments of irrigators of the tower cooling tower. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024; 26 (4): 115-123. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-4-115-123.

### **Введение (Introduction)**

В настоящее время градирни достаточно широко применяются в системах оборотного водоснабжения ТЭС. В процессе эксплуатации на оросителях градирен образуются отложения, снижающие эффективность охлаждения и вызывающие постепенное разрушение самих оросителей [1, 2]. Снижение эффективности охлаждения напрямую связано с изменением условий прохождения потоков воздуха через оросители – при наличии мощных отложений возможно значительное ухудшение условий теплообмена. Кроме того, образующиеся отложения крайне негативно влияют на прочностные характеристики несущих конструкций высотных сооружений.

Химический состав образующихся на оросителях градирен отложений достаточно неоднороден и обусловлен, главным образом, содержащимися в воде примесями. Также неоднородна и структура отложений: это и твердые образования, которые достаточно прочно связаны с металлом, и рыхлые аморфные отложения, легко отделяющиеся от поверхности конструкций. В образовании первых основное участие принимают содержащиеся в воде соли жесткости, образующие на оросителях различные виды накипей. Вторые формируются за счет взвешенных примесей и продуктов коррозии.

Ещё одним видом загрязнений оросителей могут являться колонии микроорганизмов, в том числе и патогенных. Данный вид загрязнений образуется в условиях недостаточной биоцидной обработки охлаждающей воды.

Считается, что из-за мощных отложений на поверхностях оросителей охлаждающая способность градирен снижается до 40 и более процентов. Столь значительное снижение эффективности охлаждения негативно сказывается на показателях энергопотребления предприятий теплоэнергетики и приводит к росту общих затрат.

Очистка оросителей требует значительных финансовых затрат и затрат рабочего времени, так как связана с необходимостью осуществления процессов демонтажа и последующего монтажа элементов конструкций и их трудоёмкой очисткой или даже полной заменой. Сама очистка может осуществляться как механическими, так и химическими методами.

При механической очистке производится обработка поверхностей различными абразивами. Гидродинамические методы позволяют удалять загрязнения путём отмытки отложений под высоким давлением воды. Также используются другие, в том числе инновационные, методы удаления отложений, пока не получившие повсеместного распространения [3, 4].

Широко используется очистка загрязнений с помощью острого пара и растворов различных химических реагентов. Однако, все вышеперечисленные способы характеризуются трудоёмкостью, достаточно высокими затратами и дополнительной нагрузкой на окружающую среду в результате образования вторичных загрязнений.

На состояние градирен напрямую влияет величина солесодержания оборотной воды, вызывающая отложение солей не только в оросительных устройствах, но и в подводящих трубопроводах и других конструктивных элементах. Особенно опасны отложения в оросителях, вызывающие снижение площади их рабочих поверхностей и, следовательно, снижая эффективность их работы. В процессе эксплуатации градирен происходит частичное испарение воды, приводящее к повышению концентрации солей. Одним из вариантов снижения солесодержания является продувка - сброс части оборотной воды в канализационную сеть и восполнение необходимого объема свежей водой, что позволяет поддерживать требуемую концентрацию солей в объеме оборотного цикла.

Таким образом, вопросы минимизации отложений на поверхностях оросителей градирен весьма актуальны, поскольку имеют как технологический, так и экономический аспекты.

Существуют различные варианты решения проблемы осадкообразования в системах оборотного охлаждения. Например, в [2, 5] выполнен анализ эффективности использования многокомпонентной реагентной обработки циркуляционной воды путем дозирования органических фосфонатов и композиций на их основе. Однако, в случае нахождения воды в системах оборотного охлаждения в состоянии перенасыщения возможно возникновение негативного эффекта, что выражается в дезактивации фосфонатов, приводящей к созданию аварийных ситуаций.

Также на проблемы осадкообразования оказывают влияние гидравлические характеристики сооружения [6] - при превалировании капельного уноса над процессами испарения воды, характерным для условий низкой тепловой нагрузки, сочетающейся с высокой скоростью циркуляции возможны значительные потери фосфонатов за счет их поступления в атмосферный воздух с каплями влаги.

В работе [1] сделан вывод, что даже при низких коэффициентах упаривания циркуляционной воды, не превышающем 1,2-1,3, в системах оборотного охлаждения происходит отложение малорастворимых соединений. Авторы связывают данный негативный эффект прежде всего с нестационарностью потоков природной добавочной воды, подаваемой в системы оборотного охлаждения, и расходами циркуляционной воды.

Выполненные авторами расчеты [7, 8] доказывают значительное влияние сезонных изменений качества исходной природной воды на процессы осадкообразования в системах оборотного охлаждения. Например, характерное для зимнего периода состояние незначительного пресыщения малорастворимыми соединениями и состояние близкое к насыщению, характерное для летнего периода, существенно отличается от ненасыщенных вод паводкового периода в плане смещения химических равновесий. Соответственно, обеспечивающий безнакипную работу коэффициент упаривания должен иметь сезонную зависимость. Анализ работы действующих систем оборотного охлаждения ТЭС показывает, что они большую часть времени работают с превышением допустимой степени упаривания воды.

Из введения читатель должен понять, что было сделано и зачем. Поэтому в нем представляется изучаемая проблема и поясняется, что является самым важным в вашем исследовании и по какой причине.

#### ***Материалы и методы (Materials and methods)***

Для разработки эффективных мероприятий, позволяющих снизить скорость образования отложений на поверхностях оросителей градирен, целесообразно подробно исследовать как химический состав воды системы охлаждения, так и химический состав и особенности структуры образовавшихся отложений. Полученные данные позволят прогнозировать интенсивность процессов накипеобразования в оборотных системах охлаждения и оперативно нивелировать негативные процессы.

Исследования показателей воды системы охлаждения проводили с помощью классических методов количественного химического анализа. Для повышения точности проведенных измерений и исключения случайных ошибок измерения применялось трехкратное измерение показателей с определением среднего значения.

Основные физико-химические показатели состава исходной воды, используемой в исследуемой системе охлаждения, представлен в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Диапазон изменения физико-химических показателей охлаждающей воды  
*Range of changes in physicochemical parameters of cooling water*

Показатель	Единицы измерения	Диапазон значений
1	2	3
Величина общей жесткости	мг-экв/дм <sup>3</sup>	9,5-10,8
Величина щелочности	мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,8-7,4
Концентрация хлоридов	мг/дм <sup>3</sup>	118,3-139,1
Концентрация сульфатов	мг/дм <sup>3</sup>	680-748
Величина электропроводности	мкСм/см	2960-3150
Общее содержание железа, Fe	мг/дм <sup>3</sup>	0,08-0,25
Величина pH	ед. pH	7,95-8,54

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как видно из таблицы, исходная вода имеет достаточно высокие показатели жесткости, а также, по-видимому, содержит природные гуминовые соединения и коллоидные примеси, что подтверждается дополнительно проведенными анализами, показавшими высокие значения окисляемости.

Учитывая физико-химические показатели исходной воды перед подачей в циркуляционные каналы её подвергают обработке методами коагуляции и известкования. В качестве коагулянта используют хлорное железо дозой 0,1 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а доза известкового молока находится в диапазоне 0,1 - 0,3 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Для подавления жизнедеятельности микроорганизмов, присутствующих в исходной воде, её дополнительно обрабатывают биоцидами. Биоциды подразделяются на два класса - с окисляющим и неокисляющим действием [10-12]. Первые способны вступать в реакцию с белками и липидами, вызывая биодеструкцию клеточных структур. Они эффективны, но их действие достаточно краткосрочно. Вторые обладают пролонгированным действием, вступая во взаимодействие с компонентами клеточных мембран микроорганизмов.

Представляют интерес биоциды на основе солей четвертичного аммония и биоразлагаемый сульфат тетраакс(гидроксиметил)фосфония THPS 25, так как наиболее безопасны в экологическом отношении, оказывая минимальную нагрузку на окружающую среду.

В нашем случае воду обрабатывали бромбиоцидом дозой соответствующей показателям окисляемости воды в циркуляционных каналах, которые по результатам многолетних наблюдений находятся в интервале от 9,6 до 13,6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Однако визуальное обследование оросителей градирен показало, что данный комплекс мероприятий по физико-химической и бактерицидной обработке воды не позволяет избавиться от выделения на оросителях значительного количества нерастворимых солей, образования разнообразных отложений минерального и органического характера.

#### **Результаты (Results)**

Исследования отложений, образовавшихся на оросителях, осуществлялись с помощью классических методов химического анализа, а также с использованием оборудования центра коллективного пользования (ЦКП) ЮРГПУ (НПИ), а именно: анализатора размеров частиц лазерный MICROTRAC S 3500, производства США, с общим диапазоном измерений 0,024 - 2800 мкм; сканирующего электронного микроскопа Quanta 200, производства Нидерланды, с разрешающей способностью 3,5 нм и сканирующего зондового микроскопа Solver HV, производства Россия. Проведённые ранее исследования с единичным образцом отложений оросителя [12] показали достаточность данного комплекса лабораторных изысканий, позволяющих достаточно полно охарактеризовать состав и структуру исследуемого материала.

Наиболее информативные результаты проведённых исследований приведены на рисунке 1.

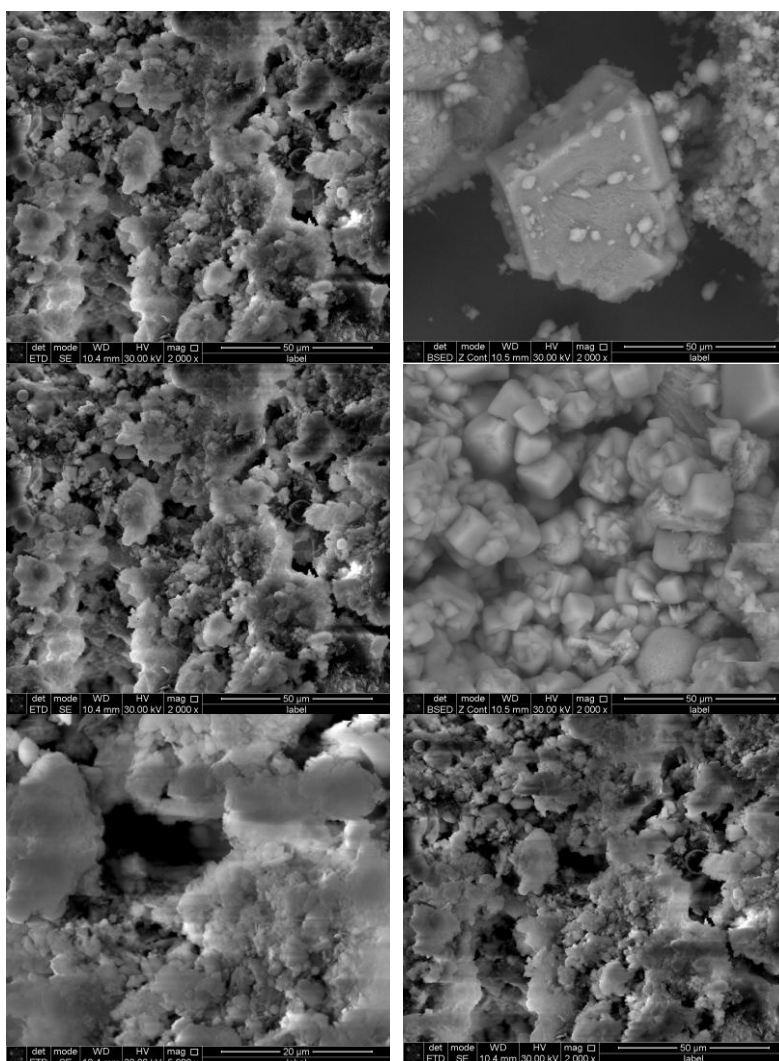


Рис. 1. Результаты исследования образцов отложений оросителя башенной градирни, выполненные с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 200

Fig. 1. The results of the study of sediment samples of the sprinkler of the tower cooling tower, performed using a scanning electron microscope Quanta 200

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Результаты исследования образцов отложений оросителей с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 200 показывают, что отложения достаточно разнородны, имеют различную структуру и, по-видимому, различный химический состав. Также можно в составе отложений заметить включения, которые можно отнести к останкам живых микроорганизмов размером от 1,5 до 8,5 мкм. Данное предположение было проверено и подтверждено с помощью соответствующих экспериментов.

Исследования элементного состава образцов отложений, структура которых приведена на рисунке 1, выполняли с помощью лазерного анализатора MICROTRAC S 3500, сканирующего зондового микроскопа Solver HV и классических методов химического анализа. Результаты данных исследований приведены в таблице 2. Минимальные и максимальные процентные значения элементного состава по массе и по атомному весу, приведённые в таблице 2, получены по результатам исследования восьми образцов отложений.

Таблица 2

Table 2

Элементный состав исследованных образцов отложений оросителей башенной градирни  
*Elemental composition of investigated tower cooling tower sprinkler sediment samples*

Элемент	Содержание по массе, %		Содержание по атомному весу, %	
	Максимальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Минимальное значение
C	41,1	2,5	52,4	4,2
O	70,4	37,5	82,8	41,4
Mg	1,6	0,1	1,3	0,2

K	0,3	0,2	0,1	0,1
Al	9,2	0,7	6,9	0,4
Si	7,7	0,2	5,4	0,1
P	0,4	0,2	0,2	0,1
S	0,5	0,2	0,3	0,1
Ca	45,6	10,7	23,7	4,1
Fe	4,7	0,5	1,7	0,1
Cu	0,4	0,1	0,1	0
Ti	0,2	0	0,1	0
Co	0,2	0,1	0,1	0
Cr	0,5	0,3	0,1	0
W	0,1	0	0	0
Mn	0,5	0	0,2	0

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

#### Обсуждение (Discussions)

Анализ полученных результатов показывает, что отложения на оросителях имеют неоднородный характер и по данным рентгенофазного анализа представлены преимущественно кристаллической формой  $\text{CaCO}_3$  и незначительными включениями  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Кроме того, присутствуют аморфные неорганизованные формы отложений, содержащие окислы алюминия, кремниевой кислоты и незначительного количества соединений железа.

Усреднённый состав отложений показал, что доля кристаллических соединений превышает 65%, а доля органики составляет порядка 10-12%. Остальная масса отложений приходится на аморфные неорганизованные формы.

Содержание органики определяли в лабораторных условиях по разности общих потерь массы при прокаливании и теоретическому значению данного показателя, обусловленному улетучиванием  $\text{CO}_2$  в процессе нагревания. Теоретическое значение оценивается соотношением  $0,79\text{CaO}$ .

Таким образом, можно предположить, что осуществляемые на станции мероприятия по обработке охлаждающей воды не являются достаточными.

Для подтверждения данного вывода были рассчитаны индексы стабильности Ланжелье и Ризнера воды циркуляционного канала. Результаты химических анализов проб воды циркуляционного канала приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Физико-химические показатели пробы воды циркуляционного канала

*Physico-chemical parameters of the circulation canal water sample*

Показатель	Единицы измерения	Значения показателей
1	2	3
Величина общей жесткости	мг-экв/л	21,4 - 24,9
Величина щелочности	мг-экв/л	10,5 - 12,3
Концентрация хлоридов	мг/л	368 - 387
Концентрация сульфатов	мг/л	2156 - 2351
Величина окисляемости	мг $\text{O}_2$ /л	10,1 - 11,4
Значение температуры	$^{\circ}\text{C}$	27,6 - 30,8
Величина pH	ед. pH	8,7 - 9,1

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Предварительно были рассчитаны коэффициент фактической кратности упаривания  $f$  и определена расчётная величина карбонатной жесткости воды циркуляционного канала  $g$ .

Коэффициент фактической кратности упаривания  $f$  воды был установлен по соотношению величин концентраций остающихся в истинно растворенном состоянии ионов хлора в оборотной и добавочной воде. Исходя из результатов дополнительно проведённых лабораторных исследований, согласно которым концентрацию хлоридов в воде после осветлителя приняли в среднем равной 127,5 мг/л, а концентрацию хлоридов в подводящем канале - в среднем 375 мг/л, расчетное значение коэффициента упаривания составило 2,9.

Расчетная величина карбонатной жесткости воды  $g$ , найденная из соотношения величин жесткости оборотной и добавочной вод, составила 2,8 мг-экв/л.

Согласно п. 2 РД 34.22.501-87 «Водный режим системы оборотного водоснабжения и определение накипеобразующей способности охлаждающей воды» контролировать процессы накипеобразования в охлаждающей системе следует с помощью соотношения величин  $f$  и  $g$ . Если величина  $f$  превышает расчётную величину карбонатной жесткости

воды циркуляционного канала  $g$ , то в системе оборотного охлаждения интенсифицируются процессы образования накипи.

Дополнительный расчет индексов стабильности воды был осуществлен согласно СНиП 2-04-02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» с использованием фактических значений концентрации кальция и величины щелочности воды, а также с учетом величин рН, температуры и соледержания. Расчет показал, что значения индексов Ланжелье и Ризнера составляют соответственно  $LSI=2,48$  и  $RSI=4,04$  единиц. Значения индексов Ланжелье и Ризнера, соответственно, более 0 и менее 6 однозначно свидетельствуют о склонности воды к осадкообразованию.

Анализируя результаты проведенных расчетов можно сделать вывод, что вода в системе охлаждения имеет склонность к образованию накипи и для предупреждения образования отложений карбоната кальция на конструктивных элементах башенных градирен требуется дополнительная обработка охлаждающей воды - либо реагентными, либо физико-химическими методами, либо их комбинацией.

Как один из вариантов изменения технологии подготовки добавочной воды можно рассмотреть замену реагентных методов осаждения на более совершенные варианты снижения концентрации коллоидных примесей и значения жесткости. В частности, на стадии предочистки возможно осуществлять дополнительное дозирование флокулянтов, доза которых определяется в ходе пробной коагуляции в зависимости от текущих показателей исходной воды. Также возможно использование баромембранных технологий для снижения жесткости и величины соледержания.

Также в качестве превентивных методов можно предложить использование более эффективных вариантов биоцидной обработки исходной воды, так как существующий метод обеззараживания не позволяет предотвратить развитие колоний микроорганизмов на оросителях градирен.

В лабораторных условиях проводилось исследование эффективности применения биоразлагаемого реагента THPS, являющегося относительно безопасным для окружающей среды по сравнению с биоцидами окисляющего действия и классическими препаратами на основе брома. Лабораторные исследования проводились в соответствии с межгосударственным стандартом по ГОСТ 34786-2021 и включали определение общего числа микроорганизмов (ОМЧ) и общих колиформных бактерий (ОКБ - грамтрицательных, оксида-зоотрицательных, не образующих спор палочек). Приготовление реагентов и питательных сред осуществлялась в соответствии с ГОСТ ГОСТ 31955.1, ГОСТ ISO 7899-2 и ГОСТ ISO 11133.

Исследования показали, что обработка THPS позволяет обеспечивать полное отсутствие в обработанных пробах речной воды спор сульфитредуцирующих клостридий и ОМЧ менее 50 колониеобразующих единиц в 1 мл исследуемой воды.

Биоцидную обработку проводили пониженными концентрациями реагента (до 30 мг/л) в широком диапазоне рН (от 6,5 до 9,0 ед). Эксперименты показали высокую эффективность препарата в широком диапазоне рН даже при его дозировании малыми дозами и снижение эффективности данного биоцида при использовании повышенных концентраций катионных флокулянтов, используемых на стадии предварительной обработки речной воды.

#### **Выводы (Conclusions)**

Отложения на оросителях имеют неоднородный характер и представлены в основном кристаллической формой карбоната кальция с незначительными включениями гидроксида магния. Кроме кристаллических форм в пробах отложений присутствуют аморфные неорганизованные формы, содержащие окислы алюминия, кремниевой кислоты и незначительного количества железа и органических соединений.

С учетом того, что коэффициент фактической кратности упаривания превышает расчетную величину карбонатной жесткости воды циркуляционного канала делаем вывод, что в исследуемой системе оборотного охлаждения интенсивно протекают процессы образования накипи. Об этом же свидетельствуют расчетные значения индексов Ланжелье и Ризнера. Следовательно, для минимизации отложений на конструктивных элементах башенных градирен необходимо проведение дополнительной обработки охлаждающей воды.

Доказана эффективность использования в качестве превентивной обработки воды пониженных доз биоразлагаемого сульфата тетраакис(гидроксиэтил)фосфония. Данный реагент относительно безопасен для окружающей среды, а также показывает высокую эффективность в широком диапазоне рН при относительно низких концентрациях,

обеспечивая в обработанных пробах воды полное отсутствие спор сульфитредуцирующих кластридий и низкое значение общего микробного числа.

#### Литература

1. Определение причин осадкообразования в системе технического водоснабжения на ТЭС/Муртазин А.И., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Власов С.М. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.2012, № 1-2.
2. Мониторинг физико-химических процессов в системе оборотного охлаждения Набережночелнинской ТЭЦ/Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Волков М.А., Муртазин А.И. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.2010.
3. Повышение эффективности очистки водосборных бассейнов башенных испарительных градирен/Кольченко О.Л., Нагибина И.А., Матевосян Ю.М., Домрина Г.В., Тюменев И.П. // Глобальная ядерная безопасность, 2015, № 2(15), С. 91-99.
4. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций/ Зенович Лешкевич Ольцинский Ю.А., Широглазова Н.В., Зенович Лешкевич Ольцинская А.Ю. // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ, 2016, Т.59, № 3.
5. Чичиров А.А., Смирнов А.Ю., Васильев В.А., Чичирова Н.Д. Экспериментальное определение испарения воды в градирнях системы оборотного охлаждения ТЭС // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2007. № 5-6.С. 134-140.
6. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Галеев И.И., Муртазин А.И., Смирнов А.Ю., Волков М.А. Моделирование и анализ процессов при функционировании систем оборотного охлаждения ТЭС // Труды Академэнерго.2009. № 2. С. 64-80.
7. Математическое моделирование материальных потоков в системе оборотного охлаждения ТЭС/А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.Ю. Смирнов, И.Ю. Силов, А.И. Муртазин // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008. № 5-6.С. 28-34.
8. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Хусаинов Р.Р. Математическое моделирование физико-химических процессов при реагентной обработке воды // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. №2. с. 31-34.
9. Finnegan E.J., Kovac K.A., Jaligot E. et.al. The down-regulation of Flowering Locus C (FIC) expression in plants with low levels of DNA methylation and by vernalization occurs by distinct mechanisms // The Plant Journal. 2005. Vol. 44. Is.3.P. 420-432. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02541.x.
10. Kahrilas G.A., Blotevogel J., Corrin E.R., Borch T. Downhole transformation of the hydraulic fracturing fluid biocide glutaraldehyde: implications for flowback and produced water quality // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50. P. 11414-11423. DOI: 10.1021/acs.est.6b02881.
11. Liu X. A Lightweight Database of Human Nonsynonymous SNPs and Their Functional Predictions // Human Mutation. 2011. Vol. 32. No. 8. P. 894-899. DOI: 10.1002/humu.21517.
12. Веселовская Е.В. К вопросу минимизации отложений в системах оборотного охлаждения ТЭС/Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XLIV Международной научно-технической конференции. Новочеркасск, 2023. С. 335-337.

#### Авторы публикации

**Веселовская Елена Вадимовна** – докт. техн. наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия. E-mail: elenaveselovskaja@yandex.ru

**Лазарева Елена Александровна** – канд. техн. наук, доцент, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, заведующая кафедрой «Дизайн», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия.

#### References

1. Opredelenie prichin osadkoobrasovaniya v sisteme technicheskogo vodosnabjenija na TES/Murtasin A.I., Chicherova N.D., Chicherov A.A., Vlasov S.M. Isvestija vyshich uchebnyh savedenj. Problemy energetiki. 2012.
2. Monitoring fisiko-himicheskikh prozessov v sisteme TES/ Chicherov A.A., Chicherova N.D., Volkov M.A., Murtasin A.I./ Isvestija vyshich uchebnyh savedenj. Problemy energetiki. 2010.



3. Povyshenie effektivnosti ochistki vodosbornykh bassejnov bashennyh isparitel'nyh gradiren/Kol'chenko O.L., Nagibina I.A., Matevosyan Yu.M., Domrina G.V., Tyumenev I.P.//Global'naya yadernaya bezopasnost', 2015, № 2(15), S. 91-99.

4. Sovershenstvovanie sistem tekhnicheskogo vodosnabzheniya s gradirnyami s cel'yu uluchsheniya tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej teplovyh elektrostancij/ Zenovich Leshkevich Ol'cinskij Yu.A., Shiroglazova N.V., Zenovich Leshkevich Ol'cinskaya A.Yu.//Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i energ. ob"edinenij SNG, 2016, T.59, № 3.

5. Chichirov A.A., Smirnov A.Yu., Vasil'ev V.A., Chichirova N.D. Eksperimental'noe opredelenie ispareniya vody v gradirnyah sistemy oborotnogo ohlazhdeniya TES//Izvestiya vuzov. Problemy energetiki. 2007. № 5-6.S. 134-140.

6. Chichirov A.A., Chichirova N.D., Galeev I.I., Murtazin A.I., Smirnov A.Yu., Volkov M.A. Modelirovanie i analiz processov pri funkcionirovanii sistem oborotnogo ohlazhdeniya TES//Trudy Akademenergo.2009. № 2. S. 64-80.

7. Matematicheskoe modelirovanie material'nyh potokov v sisteme oborotnogo ohlazhdeniya TES/A.A. Chichirov, N.D. Chichirova, A.Yu. Smirnov, I.Yu. Silov, A.I. Murtazin// Izvestiya vuzov. Problemy energetiki. 2008. № 5-6.S. 28-34.

8. Chichirov A.A., Chichirova N.D., Husainov R.R. Matematicheskoe modelirovanie fiziko-himicheskikh processov pri reagentnoj obrabotke vody//Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2006. №2. s. 31-34.

9. Finnegan E.J., Kovac K.A., Jaligot E. et.al. The down-regulation of Flowering Locus C (FIC) expression in plants with low levels of DNA methylation and by vernalization occurs by distinct mechanisms//The Plant Journal. 2005. Vol. 44. Is.3.P. 420-432. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02541.x.

10. Kahrilas G.A., Blotevogel J., Corrin E.R., Borch T. Downhole transformation of the hydraulic fracturing fluid biocide glutaraldehyde: implications for flowback and produced water quality // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50. P. 11414-11423. DOI: 10.1021/acs.est.6b02881.

11. Liu X. A Lightweight Database of Human Nonsynonymous SNPs and Their Functional Predictions // Human Mutation. 2011. Vol. 32. No. 8. P. 894-899. DOI: 10.1002/humu.21517.

12. Veselovskaya E.V. K voprosu minimizacii otlozhenij v sistemah oborotnogo ohlazhdeniya TES/Kibernetika energeticheskikh sistem. Sbornik materialov XLIV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Novochoerkassk, 2023. S. 335-337.

#### **Authors of the publication**

***Elena V. Veselovskaya*** – M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russia. E-mail: tes252@yandex.ru.

***Elena A. Lazareva*** – M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russia.

*Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы*

***Получено*** **06.06.2024 г.**

***Отредактировано*** **10.06.2024 г.**

***Принято*** **17.06.2024 г.**