

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.187

Аида Альбертовна Зидиханова

ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», соискатель, инженер-технолог, Россия, Москва, e-mail: az@wteng.ru

Андрей Борисович Ларин

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике, Россия, Иваново, телефон (4932) 26-99-32, e-mail: yaandy_81@mail.ru

Ведение ВХР с применением реагентов ВТИАМИН на ТЭЦ с сезонным режимом работы

Авторское резюме

Состояние вопроса. В состав основного оборудования ТЭЦ входит паровой котел Е-120-7,0-500ГМ производства ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ» с одноступенчатой схемой испарения. Режим работы ТЭЦ имеет сезонные особенности: в период с февраля по конец августа оборудование останавливается в резерв. Дозирование АМИНАТ ПК-3 не обеспечивает необходимого уровня рН в паре и питательной воде, а также не обеспечивает защиту внутренних поверхностей оборудования в период сезонного останова, поэтому была выполнена замена реагента для ведения водно-химического режима и консервации с АМИНАТ ПК-3 на ВТИАМИН КР-33. Комплексный реагент ВТИАМИН КР-33 обеспечивает поддержание требуемых показателей качества теплоносителя по тракту и способствует формированию на внутренних поверхностях нагрева защитной барьерной пленки.

Материалы и методы. Для контроля ведения водно-химического режима модернизирована имеющаяся система автоматизированного химического контроля, установлены щиты автоматического химического контроля величины рН, электропроводности прямой и Н-катионированной пробы, выполнена замена фильтрующего материала и обвязка механических фильтров, заменена первая ступень установки обратного осмоса, смонтирована вторая ступень установки обратного осмоса и установлены фильтры финишной доочистки Н-ОН.

Результаты. Показана возможность использования в качестве химического контроля водно-химического режима котлов с сезонным режимом работы измерений электропроводности охлажденных проб воды и пара. Установлено, что дозирование реагента ВТИАМИН КР-33 с периодической поддозировкой реагента ВТИАМИН Д-8 в котловую воду способствует предотвращению осаждения солей жесткости и других примесей, поступающих с возвратным конденсатом с производства. Анализ показателей водно-химического режима на ТЭЦ при работе с дозированием реагента ВТИАМИН КР-33 в две точки показал,

что величина pH питательной воды находится в пределах 8,8–9,0 и показатели водно-химического режима по содержанию железа, кремниевой кислоты и натрия также находятся в нормируемых пределах. Подобран состав реагентов, обеспечена гибкость ведения водно-химического режима. Дозировка аминосодержащего реагента ВТИАМИН нейтрализует негативное воздействие агрессивных газов (углекислоты и кислорода) за счет их связывания и образования защитной пленки магнетито-аминового типа на поверхностях нагрева.

Выводы. Внедрение предложенного водно-химического режима при выводе оборудования в сезонный резерв не требует проведения дополнительных мероприятий по консервации.

Ключевые слова: паровой котел, энерготехнологическое оборудование, аминосодержащий реагент, водно-химический режим

Aida Albertovna Zidikhanova

LLC “Water Technologies Engineering”, Technical Engineer, Applicant, Russia, Moscow, e-mail: az@wteng.ru

Andrey Borisovich Larin

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, (Post-doctoral degree), Professor of Chemistry and Chemical Technologies in Power Engineering Department, Russia, Ivanovo, telephone (4932) 26-99-32, e-mail: yaandy_81@mail.ru

Water-chemical regime with use of VTIAMIN reagents at TTP with seasonal mode of operation

Abstract

Background. The main equipment of the thermal power plant (TPP) includes a E-120-7.0-500GM steam boiler produced by LLC “Belenergomash – BZEM” with a single-stage evaporation circuit. The operating mode of the thermal power plant has seasonal characteristics. During the period of February to the end of August the equipment is stopped as a reserve. Dosing of AMINAT PK-3 does not provide the required pH level in steam and feed water, so the reagent for water-chemical regime and preservation has been substituted with VTIAMIN KR-33. The complex reagent VTIAMIN KR-33 ensures both the maintenance of the required quality indicators of the coolant along the path and promotes the formation of a protective barrier film on the internal heating surfaces.

Materials and methods. To check water-chemical regime, the existing automatic chemical control system has been updated. Panels have been installed for automatic chemical control of pH value, electrical conductivity of direct and H-cationized samples. The filter material has been replaced and the mechanical filters have been connected. The first stage of the filter has been replaced, the second stage of the filter and final purification filters H-OH have been installed.

Results. The authors have demonstrated the possibility to use boilers with seasonal operating modes and measuring the electrical conductivity of cooled water and steam samples as a chemical control of water chemistry. It is found out that dosing the VTIAMIN KR-33 reagent with periodic dosing of the VTIAMIN D-8 reagent into the boiler water prevent the precipitation of hardness salts and other impurities coming with the return condensate. Analysis of the indicators of the water chemistry regime at the thermal power plant when dosing the VTIAMIN KR-33 reagent at two points has shown that the pH value of the feed water is in the range of 8,8–9,0 and the indicators of the water chemistry regime in terms of the content of iron, silicic acid and sodium are also within the norm limits. The composition of the reagents is selected. Flexibility of water chemistry management is ensured. It has been shown that the dosage of the amine-containing reagent VTIAMIN neutralizes the negative effects of aggressive gases (carbon dioxide and oxygen) due to their binding and the formation of a protective film of the magnetite-amine type on heating surfaces.

Conclusions. Introduction of the water chemical regime when the equipment is stopped as a reserve does not require additional preservation measures.

Key words: steam boiler, power technology equipment, amino-containing reagent, water-chemical regime

DOI: 10.17588/2072-2672.2024.2.005-014

Введение. В современных условиях эксплуатации оборудования ТЭС и промышленных предприятий, работающих с длительными сезонными остановками, наиболее

предпочтительным является водно-химический режим (ВХР) на основе комплексных аминосодержащих реагентов. Применение аминосодержащих реагентов обеспечивает

защиту поверхностей нагрева энергетического оборудования, а также конденсаторов и паропроводов от коррозии как в процессе эксплуатации оборудования, так и в стояночных режимах [1–3].

Ниже рассмотрены результаты опыта работы по наладке и сопровождению ВХР с применением комплексных аминокислотных реагентов марки ВТИАМИН на энерготехнологическом котле высокого давления промышленного предприятия с сезонным циклом работы. Показана эффективность применяемых реагентов подобного типа при имеющихся нарушениях ВХР по содержанию кислорода ввиду индивидуальных особенностей тепловой схемы.

В состав основного оборудования ТЭЦ входит паровой котел Е-120-7,0-500ГМ производства ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ» с одноступенчатой схемой испарения. Регулирование температуры перегретого пара осуществляется впрыском питательной воды, отбираемой за водяным экономайзером. Технические характеристики котла представлены в табл. 1.

Пар из котла подается на паровую турбину Siemens SST-300 с последующим отпуском пара на производство. Особенностью тепловой схемы с противодавленческой турбиной является отсутствие в ней конденсатора, так как весь генерируемый

пар отпускается на производство, откуда возвращается в виде конденсата. Режим работы ТЭЦ имеет сезонные особенности: в период с февраля по конец августа оборудование останавливается в резерв.

Наладка ВХР на начальном этапе эксплуатации ТЭЦ. С момента ввода в эксплуатацию котел находился в работе в сезоне 2016–2017 гг., при этом не соблюдались нормы и правила ведения ВХР², отсутствовала коррекционная реагентная обработка, а также не проводилась предпусковая очистка и пассивация. В обессоленную воду, вопреки всем правилам, дозировался едкий натр для повышения величины рН, при этом отмечалась крайне низкая величина рН пара. Величина рН питательной воды была в нормируемых пределах, однако содержание натрия значительно превышало нормативы из-за дозирования едкого натра в обессоленную воду.

При строительстве ТЭЦ в 2016 г. проектом была предусмотрена дозировка реагентов для коррекционной обработки в питательную и котловую воды: в питательную – реагент АМИНАТ ПК-3, в котловую – фосфаты. После устранения имеющихся эксплуатационных недоработок были использованы проектные узлы для обеспечения дозирования реагента ВТИАМИН КР-33.

Таблица 1. Технические характеристики энерготехнологического котла Е-120-7,0-500ГМ

Наименование параметра	Величина
Номинальная паропроизводительность, т/ч	120
Рабочее давление пара, МПа (кгс/см ²)	7,0 (70)
Температура перегретого пара, °С	500
Температура питательной воды, °С	140
Температура газов на выходе из котла, °С	130
Коэффициент полезного действия, %, не менее	94,7

Методы исследования. Отличительная особенность выбранного для ведения ВХР реагента ВТИАМИН КР-33, в отличие от

реагента АМИНАТ ПК-3 и фосфатов, состоит в том, что комплексный реагент ВТИАМИН КР-33 обеспечивает как поддер-

² Приказ Минэнерго России от 04.10.2022 N 1070 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757, от 12 июля 2018 г. № 548»; СТО 70238424.27.100.013-2009. Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условие создания. Нормы и требования: Стандарт организации. – М.: НП «ИНВЭЛ», 2009.

жание требуемых показателей качества теплоносителя по тракту, так и формирование на внутренних поверхностях нагрева защитной барьерной пленки, препятствующей проникновению к поверхности металла любых коррозионно-агрессивных веществ, тем самым способствуя уменьшению вероятности развития коррозионных процессов. Помимо этого, дозирование АМИНАТ ПК-3 не обеспечивало необходимого уровня pH в паре и питательной воде, поэтому для ведения ВХР и консервации была выполнена замена реагента АМИНАТ ПК-3 на ВТИАМИН КР-33 на основании предыдущих исследований и опытно-промышленных испытаний [4–5].

Для контроля ведения ВХР в период наладочных работ также была модернизирована имеющаяся система автоматического химического контроля (АХК), установлены щиты автоматического химического контроля величины pH, электропроводности прямой и H-катионированной проб питательной воды и пара, а также кислорода в питательной воде и отдельный щит для контроля pH и электропроводности прямой пробы котловой воды.

При ознакомлении со схемой подготовки добавочной воды было предложено произвести реконструкцию водоподготовительной установки, так как существующая технология не обеспечивала надежной работы и надлежащего качества обессоленной воды для котлов с одной ступенью испарения. Была выполнена замена фильтрующего материала и обвязка механических фильтров, заменена первая ступень УОО,

смонтирована вторая ступень УОО и установлены фильтры финишной доочистки Н-ОН. В результате на выходе с ВПУ электропроводность обессоленной воды не превышала 0,2 мкСм/см.

На основании того что котел работал без поддержания водно-химического режима, было принято решение о проведении перед пуском отмывки и пассивации с применением комплексного реагента ВТИАМИН КР-31. Целью отмывки и пассивации являлась очистка поверхностей нагрева котла и паропроводов от отложений, накопившихся за период эксплуатации, а также создание защитной пленки на поверхностях нагрева котла. Отмывка и пассивация производились в соответствии с программой в период с 11.08.2017 по 14.08.2017 и были совмещены с продувкой паропроводов. По окончании отмывки был произведен «сухой останов». В дальнейшем на котле выполнялись наладка тепломеханических режимов работы, отладка режимов горения с подключением на различной нагрузке паровой турбины.

Результаты исследований первого этапа. Результаты по изменению величины удельной электропроводности (УЭП) по тракту при пуске котла после проведения отмывки и пассивации приведены на рис. 1 и 2.

Пик значений электропроводности конденсата 06.09.17 (рис. 1) вызван подмесом конденсата второго корпуса производства с высоким pH и большим содержанием органики. Данное явление привело к увеличению электропроводности и H-катионированной пробы по тракту (рис. 2).

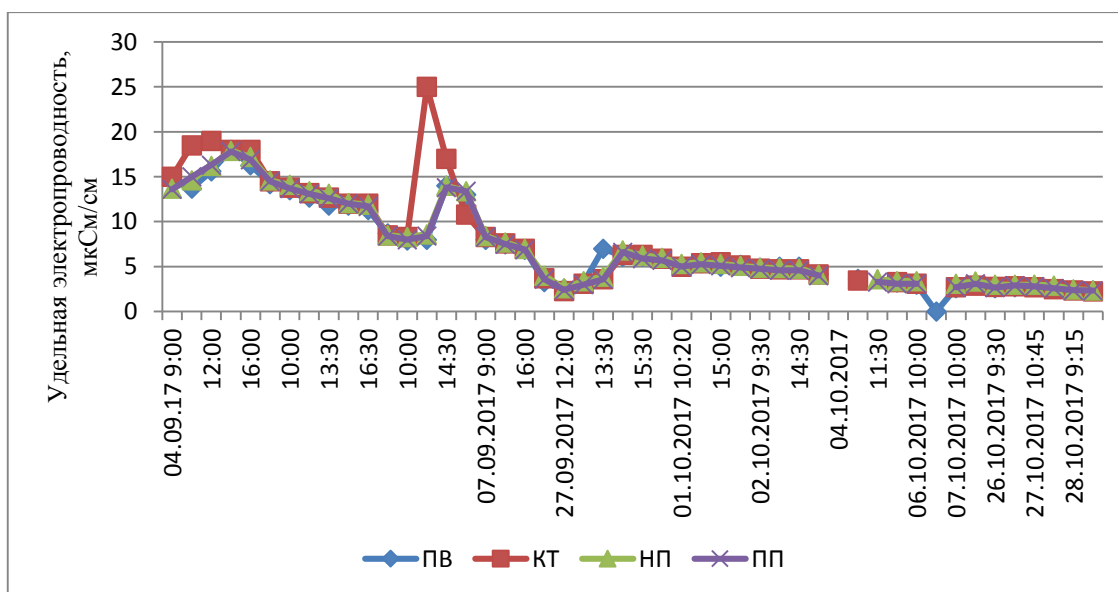


Рис. 1. Изменение удельной электропроводности по тракту блока в различные моменты предпусковых операций и эксплуатации: ПВ – питательная вода; КТ – конденсат; НП – насыщенный пар; ПП – перегретый пар

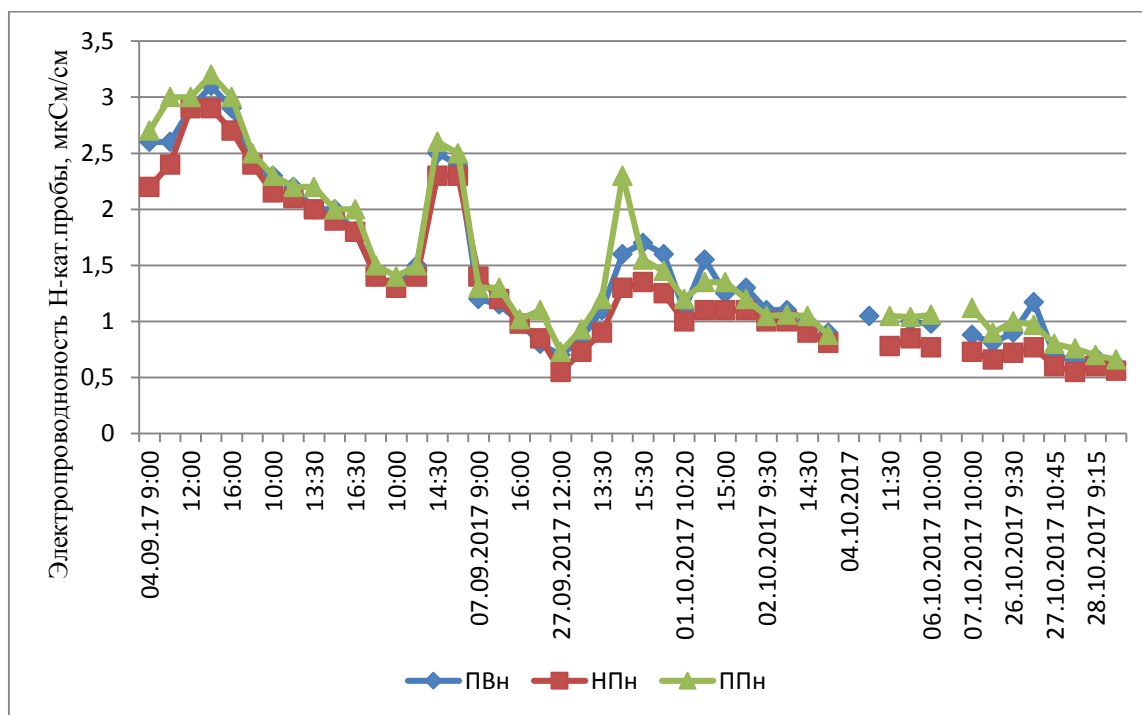


Рис. 2. Изменение электропроводности Н-катионированной пробы по тракту блока: ПВн – питательная вода; НПн – насыщенный пар; ППн – перегретый пар

В дальнейшем снижение электропроводности происходило крайне медленно. В итоге удалось добиться значений электропроводности Н-катионированной пробы перегретого пара на уровне 0,7–0,9 мксМ/см (рис. 1, 2).

Следует отметить, что предъявляемые зарубежными компаниями (к подобным котлам) жесткие требования по значению удельной электропроводности Н-катионированной пробы (до 0,5 мксМ/см) ориентируются на аммиачный водно-химический режим и не учитывают особенностей ведения ВХР с применением аминов.

Таким образом, период наладки ВХР на начальном этапе испытаний завершился успешно. Основными оперативно контролируемыми показателями можно принять автоматические измерения удельной электропроводности прямой и Н-катионированной проб.

Результаты исследований второго этапа. *Наладка ВХР парового кола E-120-7,0-500ГМ и паровой турбины SST-300 с применением комплексного реагента ВТИАМИН.* С 2018 г. водно-химический режим ТЭЦ на паровом котле E-120-7,0-500ГМ и паровой турбине SST-300 поддерживается дозированием реагентов ВТИАМИН КР-33 с периодической дозировкой реагента ВТИАМИН Д-8 в котловую воду для предот-

вращения осаждения солей жесткости и других примесей, поступающих с возвратным конденсатом с производства в периоды пуска оборудования после сезонного резерва.

При работе котла и паровой турбины с дозированием реагента ВТИАМИН КР-33 была реализована следующая схема дозирования: в питательную воду ВТИАМИН КР-33 дозировался с концентрацией 5 % и производительностью насоса-дозатора 0,8 л/ч; в котловую воду – с концентрацией 0,5 % и производительностью насоса-дозатора до 20 л/ч и добавлением едкого натра с концентрацией рабочего раствора 0,024 %.

Анализ показателей водно-химического режима на ТЭЦ при работе с дозированием реагента ВТИАМИН КР-33 в две точки показал, что величина рН питательной воды находилась в пределах 8,8–9,0, при этом величина рН котловой воды находилась в пределах от 9,0 до 9,5.

При этой схеме дозировки величина электропроводности Н-катионированной пробы перегретого пара перед турбиной находилась в пределах от 0,3 до 0,66 мксМ/см. Показатели водно-химического режима по содержанию железа, кремниевой кислоты и натрия находились в нормируемых пределах. Однако наблюдалось нарушение по содержанию кислорода в питательной воде, значение которого находилось в пределах

от 25 до 200 мкг/дм³ при работе ТЭЦ с большим процентом добавочной воды (обессоленная вода) (табл. 2).

Нарушения по содержанию кислорода вызваны тем, что установленный на ТЭЦ деаэрактор не справляется с деаэрацией потока добавочной воды, поступающей из бака запаса обессоленной воды с содержанием кислорода до 8,0 мг/дм³. При отсутствии конденсатора, традиционно выполняющего первую основную стадию деаэрации, вся нагрузка в рассматриваемой схеме ложится на деаэрактор, который по своим характеристикам не может обеспечить полноту удаления растворенных газов (кислорода и углекислоты) из обессоленной воды.

По результатам аналитического измерения и на основании расчетных данных содержание свободной и связанной углекислоты в обессоленной воде достигает 8 мг/дм³. При этом в общем потоке питательной воды содержание кислорода меняется от 20 до 200 мкг/дм³, а содержание углекислоты достигает величины 1800 мкг/дм³. В потоке возвращаемого конденсата с производства кислород не превышает 20 мкг/дм³, а значительная часть кислорода поступает с добавочной водой. Деаэрация общего потока конденсата и добавочной воды осуществляется в деаэракторе, где содержание кислорода снижается до 25–200 мкг/дм³ (в зависимости от расхода обессоленной воды, подаваемой на восполнение потерь).

При увеличении количества добавочной обессоленной воды соответственно увеличивается дозировка реагента ВТИАМИН КР-33 в питательную воду, что ведет к увеличению УЭП Н-катионированной пробы пара, так как питательная вода подается на регулирование перегрева пара, поступающего на паровую турбину.

При реализованной схеме дозирования с 2017 г. были достигнуты положительные результаты:

- содержание железа не превышает 11 мкг/дм³ в питательной воде и не более 60 мкг/дм³ в котловой воде;

- обеспечивается электропроводность Н-катионированной пробы от 0,5 до 1,0 мкСм/см (разбег значений обусловлен долей добавочной (обессоленной) воды, содержащей растворенную углекислоту и кислород в общем потоке питательной воды).

В следующем сезоне после проведения предварительной промывки в сентябре

2020 г. были начаты пусковые мероприятия на ТЭЦ в целях обеспечения производства паром. В процессе выполнения пусковых мероприятий практически с первых часов подключения теплообменного оборудования ухудшалось качество возвращаемого с производства конденсата по содержанию жесткости и величине электропроводности. Качество конденсата по содержанию солей жесткости стабильно держалось на уровне от 8 до 18 мкг-экв/дм³, что приводило к увеличению солей жесткости в питательной воде до 12 мкг-экв/дм³ при нормируемом значении не более 0,2 мкг-экв/дм³. Помимо стабильно высоких показателей жесткости, наблюдались и значительные «забросы» солей жесткости (до 100–120 мкг-экв/дм³). Кроме нарушений по содержанию солей жесткости, качество конденсата превышало и нормируемую величину электропроводности. Так, величина электропроводности при норме не более 1,0 мкСм/см достигала величин 1,5–2,0 мкСм/см.

Необходимо отметить, что на основании конструктивного исполнения котла с одной ступенью испарения, что было обусловлено изначально жесткими требованиями по качеству пара, подаваемого на паровую турбину SST–300, резкое ухудшение качества возвращаемого конденсата приводило к росту электропроводности перегретого пара из-за наличия в конденсате и, как следствие, в питательной воде значительных количеств солей жесткости и других агрессивных примесей, поступающих с конденсатом.

Так, требование к качеству питательной воды, поступающей в паропровод для регулирования температуры перегрева, по содержанию солей жесткости не должно превышать величины 0,2 мкг-экв/дм³. Однако достаточно длительный период качество питательной воды по содержанию жесткости было значительно хуже установленной нормы и достигало величины 6 мкг-экв/дм³. Подобные нарушения недопустимы, так как это приводит к солевого заносу проточной части паровой турбины и экранных поверхностей нагрева котла.

В связи с этим для предотвращения возможного осаждения солей жесткости на поверхностях нагрева котла выполнялись учащенные периодические продувки через нижние точки котла, а также была увеличена непрерывная продувка из котла. Для поддержания солей жесткости в растворенном виде была увеличена дозировка реагентов ВТИАМИН КР-33 и ВТИАМИН Д-8 в питательную и котловую воды.

Таблица 2. Данные химического контроля при величине подпитки обессоленной водой 12 т/ч

Дата отбора	Добавочная вода			Питательная вода за деаэратором				Котловая вода			Перегретый пар					
	ае, мкСм/см	Содержание O ₂ , мкг/дм ³	Табличное содержание* CO ₂ , мкг/дм ³	рН	ае, мкСм/см	аен, мкСм/см	Содержание O ₂ , мкг/дм ³	Расчетное содержание CO ₂ , мкг/дм ³	Fe, мкг/дм ³	рН	ае, мкСм/см	аен, мкСм/см	рН	ае, мкСм/см	аен, мкСм/см	Расчетное содержание CO ₂ , мкг/дм ³
Подпитка обессоленной водой в количестве 12 т/ч, возвратный конденсат с производства 20 т/ч, общий поток питательной воды 32 т/ч																
04.02.20 8:00	0,07	9000	1970*	9	4,2	1,01	>40	9	9,17	5,84	8	8,2	3,3	1,32	1100	
04.02.20 11:00				9,5	4,7	1,07	>40	отс**	9,25	6		8,14	3,2	1,47	1070	
04.02.20 14:00				8,5	4,9	1,21	>40	1470	9,35	6,42	11	8,25	3,3	1,65	1017	
04.02.20 20:00				8,93		1,26	>40	10	9,38	8,2	8	8,4		1,78		
04.02.20 23:00				8,8		1,42	>40	11				8,08		1,97		
05.02.20 2:00				8,9		1,51	>40	9	9,49	8,5	12	8,18		2,09		
05.02.20 8:00	0,08	9000	1970*	9,02	4,9	1,51	>40	758,5	9,53	8,5	8	8,32	4,9	2,08	950	
05.02.20 10:20				10	7,9	1,6	>40		9,8	12		8,7	3,5			
07.02.20	0,08	9000	1970*	9,2	2,4		>40	-	9,8	23	-	8,8	2,6		307	

Дозировка реагентов ВТИАМИН предотвращала осаждение поступающих примесей на поверхностях нагрева за счет образования растворенных в воде комплексов с нейтрализующими аминами, входящими в состав реагента. Взаимодействие нейтрализующих аминов с растворенными в конденсате примесями приводит к увеличению электропроводности воды, но не оказывает коррозионного воздействия на поверхности нагрева.

В процессе постепенной отмывки оборудования от остатков промывочных реагентов и за счет дозировки реагентов ВТИАМИН происходит стабилизация показателей водно-химического режима по качеству конденсата, что позволяет удовлетворять нормы ВХР по качеству питательной воды и пара, поступающего на паровую турбину.

Оценка эффективности ВХР с применением реагентов ВТИАМИН при визуальном осмотре внутренних поверхностей оборудования. В рамках технического сопровождения ведения ВХР с реагентами ВТИАМИН для оценки его эффективности специалистами ООО «ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» и персоналом ТЭЦ в 2022 г. перед сезонным остановом был произведен внешний осмотр внутренней поверхности барабана котла Е-120-7,0-500ГМ и анализ защитных свойств оксидной пленки, выполненный на основании РД 34.37.409-96³. По результатам осмотра комиссия выявила следующее:

1. На внутренней поверхности барабана имеется тонкий вишневый налет (пудровой структуры) в незначительном количестве, равномерно распределенный по всей поверхности водяного объема барабана. Под тонким вишневым налетом создана

магнетито-аминовая защитная пленка, цвет пленки серо-голубой, коррозионных повреждений не наблюдается (рис. 3,а,б, где в барабане котла четко виден раздел границ водяного и парового объема).

2. При испытании оксидной пленки на коррозионную устойчивость капельным методом⁴ окраска капли не изменилась при времени выдержки более 10 мин, что характеризуется по шкале устойчивости как высшая степень устойчивости.

Выводы. В ходе наладки и технического сопровождения ВХР с применением реагентов ВТИАМИН на энерготехнологическом котле промышленной ТЭЦ получены следующие результаты:

1. Подобран состав реагентов марки ВТИАМИН с учетом качества питательной воды котла Е-120-7,0-500ГМ и его технологических особенностей.

2. Обеспечена гибкость ведения ВХР применительно к индивидуальным условиям со стабилизацией величины электропроводности пара на уровне не более 0,6 мкСм/см.

3. Установлено, что дозировка аминоксодержащего реагента ВТИАМИН нейтрализует негативное воздействие агрессивных газов (углекислоты и кислорода) за счет их связывания и образования защитной пленки магнетито-аминового типа на поверхностях нагрева.

4. Ведение водно-химического режима в процессе эксплуатации соответствует нормам⁵, а при выводе оборудования в сезонный резерв не требует проведения дополнительных мероприятий по консервации оборудования с сохранением соответствующих защитных свойств.

³ РД 34.37.409-96 Приложение №3 «Методика проверки защитных свойств оксидных пленок».

⁴ Там же.

⁵ СТО 00129840.34.37.010-2017 «Проведение очистки, консервации и ведение ВХР на основе аминоксодержащего реагента марки «ВТИАМИН КР-33».



а)



б)

Рис. 3. Внешний вид барабана котла

Список литературы

1. **Гусева О.В., Бутакова М.В.** Результаты внедрения комбинированного водно-химического режима паровых котлов с использованием реагента АМИНАТ ТМ ПК-2 // Новое в Российской электроэнергетике. – 2020. – № 4. – С. 12–20.

2. **Петрова Т.И., Дяченко Ф.В., Орлов К.А.** Отечественные и международные документы по

использованию реагентов, содержащих пленкообразующие амины, для организации водно-химического режима на ТЭС // Теплоэнергетика. – 2018. – № 4. – С. 60–64.

3. **Комплексные** реагенты на основе аминов / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, И.А. Сергеев и др. // Теплоэнергетика. – 2017. – № 3. – С. 92–96.

4. **Модернизация** водно-химического режима паровых барабанных котлов на основе реагента

ВТИАМИН / А.В. Кирилина, С.Ю. Суслов, Е.Ф. Нартя и др. // Электрические станции. – 2023. – № 3. – С. 9–17.

5. **Некоторые** особенности свойств комплексных реагентов на основе аминов и водно-химический режим / С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, И.А. Сергеев и др. // Энергетик. – 2013. – № 2. – С. 28–35.

References

1. Guseva, O.V., Butakova, M.V. Rezul'taty vnedreniya kombinirovannogo vodno-khimicheskogo rezhima parovykh kotlov s ispol'zovaniem reagenta AMINAT TM PK-2 [Results of the implementation of a combined water-chemical regime of steam boilers using the reagent AMINAT TM PK-2]. *Novoe v Rossiyskoy elektroenergetike*, 2020, no. 4, pp. 12–20.

2. Petrova, T.I., Dyachenko, F.V., Orlov, K.A. Otechestvennyye i mezhdunarodnyye dokumenty po ispol'zovaniyu reagentov, sodержashchikh plenkoobrazuyushchie aminy, dlya organizatsii vodno-khimicheskogo rezhima na TES [Domestic and in-

ternational documents on the use of reagents containing film-forming amines for organizing the water chemical regime at thermal power plants]. *Teploenergetika*, 2018, no. 4, pp. 60–64.

3. 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 [Complex reagents based on amines]. *Teploenergetika*, 2017, no. 3, pp. 92–96.

4. Kirilina, A.V., Suslov, S.Yu., Nartya, E.F., Kozlovsky, V.V., Zidikhanova, A.A., Larin, A.B. Modernizatsiya vodno-khimicheskogo rezhima parovykh barabannykh kotlov na osnove reagenta VTIAMIN [Modernization of the water-chemical regime of steam drum boilers based on the reagent VTIAMIN]. *Energetik*, 2023, no. 3, pp. 9–17.

5. Suslov, S.Yu., Kirilina, A.V., Sergeev, I.A., Sokolova, E.A., Suslov, I.S., Suslov, P.S. Nekotorye osobennosti svoystv kompleksnykh reagentov na osnove aminov i vodno-khimicheskiiy rezhim [Some features of the properties of complex reagents based on amines and the water-chemical regime]. *Energetik*, 2013, no. 2, pp. 28–35.