

УДК 621.311.22

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-44-53

## Опыт организации водно-химического режима с применением пленкообразующих аминов на тепловых электрических станциях с парогазовыми установками

Т.И. Петрова, О.В. Егошина, Н.А. Большакова, В.О. Яровой, С.С. Рыбина

Приведен перечень тепловых электростанций с парогазовыми установками (ПГУ), на которых в качестве корректирующего реагента используется хеламин. Отмечены достоинства данного реагента и целесообразность его применения. Сформулированы основные недостатки водно-химических режимов на основе пленкообразующих аминов: низкие значения pH в котловой воде низкого давления при высоких значениях pH в перегретом паре низкого давления и высоких концентрациях аммиака в перегретом паре.

Представлены результаты влияния концентрации комплексного реагента на показатели качества воды и пара при работе парогазового блока мощностью 110 МВт в номинальном режиме. Рассмотрены мероприятия по оптимальному ведению водно-химического режима с дозированием комплексных реагентов применительно к ПГУ. Описаны результаты режимно-наладочных испытаний водно-химического режима котла-утилизатора с дозированием комплексного реагента. Выявлено, что при использовании хеламина марки 906 Н удельная электрическая проводимость Н-катионированной пробы перегретого пара высокого давления превышает значения, установленные временными нормами, а pH котловой воды контура низкого давления находится на нижнем пределе значений, установленных этими нормами. Выполнен переход на использование реагента другой марки, BRW 150Н, который характеризуется меньшим коэффициентом распределения между кипящей водой и насыщенным паром. Проведен сравнительный анализ результатов режимно-наладочных испытаний при использовании хеламина марок 906Н и BRW 150Н. Выявлено, что в результате замены марки хеламина при одинаковой концентрации реагента увеличиваются концентрации натрия, удельной электрической проводимости Н-катионированной пробы и pH питательной воды низкого давления.

Показано, что в результате снижения концентрации реагента BRW 150Н основные показатели качества питательной, котловой воды и пара низкого и высокого давления находятся в пределах нормируемых значений и имеют стабильные значения. Отмечено снижение удельного расхода реагента BRW 150Н в 2 раза по сравнению с дозированием реагента 906Н.

*Ключевые слова:* тепловая электрическая станция, парогазовая установка, котел-утилизатор, водно-химический режим, пленкообразующий амин, системы химико-технологического мониторинга.

*Для цитирования:* Петрова Т.И., Егошина О.В., Большакова Н.А., Яровой В.О., Рыбина С.С. Опыт организации водно-химического режима с применением пленкообразующих аминов на тепловых электрических станциях с парогазовыми установками // Вестник МЭИ. 2017. № 6. С. 44—53. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-44-53.

## Experience Gained from Setting Up Cycle Chemistry with the Use of Film-Forming Amines at Thermal Power Stations Equipped with Combined-Cycle Plants

Т.И. Петрова, О.В. Егошина, Н.А. Бол'шак ова, В.О. Яровой, С.С. Рыбина

The list of thermal power stations equipped with combined-cycle plants (CCPs) at which chelamine is used as a correcting reagent is presented. The advantages of this reagent and advisability of using it are pointed out. The main drawbacks of cycle chemistries based on film-forming amines are formulated, namely, low pH values in the low-pressure boiler water with high pH values in superheated low-pressure steam and high concentrations of ammonia in superheated steam.

The effect the concentration of a complex reagent has on the water and steam quality parameters during the operation of a 110 MW combined-cycle unit in its nominal mode is outlined. Measures taken for optimally conducting the cycle chemistry with metering complex reagents as applied to a CCP are considered. The results from regime-adjustment tests of the cycle chemistry of a heat recovery steam generator with metering a complex reagent are described. It has been revealed that in case of using Type 906 H chelamine, the specific electrical conductivity of the H-cation sample of high-pressure superheated steam exceeds the values prescribed by the temporary regulations, and that the pH of the low-pressure circuit's boiler water is at the lower limit of the range prescribed by these regulations. A transition for using Type BRW 150H reagent, which is characterized by a lower distribution ratio between boiling water and saturated steam, has been done. The results obtained from the regime-adjustment tests in the cases of using chelamine of types 906H and BRW 150H were subjected to a comparative analysis. It has been revealed that the replacement of the chelamine type (with the reagent concentration remaining the same) resulted in a higher concentration of sodium, higher conductivity of the H-cation sample, and higher pH value of low-pressure feed water.

It has been shown that with a lower concentration of Type BRW 150H reagent, the main quality indicators of feed water, boiler water, and low- and high-pressure steam are within the their standardized ranges and have stable values. It is pointed out that the specific consumption of Type BRW 150H reagent is a factor of 2 lower than in case of metering Type 906H reagent.

*Key words:* thermal power station, combined-cycle plant, heat recovery steam generator, cycle chemistry, film-forming amine, cycle chemistry monitoring systems.

*For citation:* Petrova T.I., Yegoshina O.V., Bol'shakova N.A., Yarovoy V.O., Rybina S.S. Experience Gained from Setting Up Cycle Chemistry with the Use of Film-Forming Amines at Thermal Power Stations Equipped with Combined-Cycle Plants. MPEI Vestnik. 2017; 6:44—53. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-6-44-53.

В энергетике большое внимание уделяется вопросам энергосбережения, надежности, безопасности и экологичности работы оборудования, которые напрямую зависят от качества теплоносителя (воды и пара). Его следует контролировать в режиме реального времени, и с этим успешно справляются автоматические системы химико-технологического мониторинга водно-химического режима (СХТМ ВХР) [1, 2].

Известно, что примерно 50 % повреждений оборудования на тепловых электростанциях происходит по причине нарушений водно-химического режима (ВХР). Поэтому его выбор, регулирование в процессе эксплуатации и определение качества теплоносителя являются важными факторами, в значительной степени определяющими надежность работы оборудования.

В настоящее время в Российской Федерации на тепловых электростанциях (ТЭС) с барабанными котлами, в том числе и на парогазовых установках (ПГУ) преимущественно используется традиционный гидразинно-аммиачный водно-химический режим с дозированием фосфатов в барабан котла [3]. Данный ВХР имеет ряд недостатков, таких как применение нескольких реагентов, вводимых в разные точки технологической схемы станции, и необходимость добавления дополнительных реагентов для защиты оборудования от стояночной коррозии. Предпринимаются попытки заменить данный режим на более простой и надежный [4, 5].

В настоящее время как в России, так и за рубежом достаточно широко работают с реагентами на основе пленкообразующих аминов (ПОА), представляющими собой смесь различных соединений. Имеется большое количество марок, выбор которых зависит от рабочих параметров энергетического оборудования. Одним из таких реагентов, используемых на тепловых электростанциях с барабанными котлами и в котлах-утилизаторах парогазовых установок, является хеламин [6].

На основании проведенных экспериментальных и промышленных исследований [7, 8] выявлено, что хеламин обладает моющей способностью, т. е. при очистке с его помощью котлов на теплопередающих поверхностях образуется прочная тонкая пленка, препятствующая протеканию процессов коррозии и уменьшающая риск водородного охрупчивания металла [9]. Водно-химический режим с применением хеламина повышает коррозионную стойкость металла благодаря образованию защитных пленок магнетито-аминового типа, и снижает непрерывную продувку котлов [8].

В настоящее время хеламин нужен для коррекции водных режимов котлов-утилизаторов на ТЭС с ПГУ, перечень которых приведет в табл. 1.

Анализ опыта эксплуатации ТЭС с ПГУ, на которых применяются пленкообразующие реагенты, показал, что при их использовании снижается скорость коррозии конструкционных материалов и образования

Таблица 1

#### Перечень тепловых электростанций с применением в качестве корректирующего реагента хеламина

ТЭС	Мощность ПГУ, давление в барабане (высокое/низкое), МПа	Предпусковая очистка и консервация	Корректирующий реагент
Вологодская ТЭЦ	ПГУ-110	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
Черепетская ГРЭС	ПГУ-450 (8/0,6)	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
Сочинская ТЭЦ	ПГУ-39 (5,5/0,58)	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
Адлерская ТЭЦ	ПГУ-450 (8/0,6)	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
Лукойл-Кубаньэнерго	—	Хеламин BRW 150H	Хеламин 9012H
Калининградская ТЭЦ-2	ПГУ-450 (8/0,6)	Хеламин BRW 150H	Хеламин BRW 150H
Дзержинская ТЭЦ	ПГУ-195 (1,6)	Кислотная промывка + октадециламин	Хеламин BRW 150H
Ивановская ТЭЦ	ПГУ-325 (7,5/0,7)	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
Уренгойская ТЭЦ	ПГУ-450 (8/0,6)	Хеламин BRW 150H	Хеламин 906H
ТЭЦ Москва-Сити	ПГУ-120 (8,1-0,7)	Хеламин BRW 150H	Хеламин BRW 150H



проблем, возникших в результате внедрения данного режима. Временные нормы качества теплоносителя, установленные для ПГУ, приведены в табл. 2.

Руководством химического цеха электростанции поставлена задача по выбору марки реагента и оптимальной концентрации рабочего раствора для коррекционной обработки питательной воды, а также определению оптимальной концентрации реагента в пароводяном тракте блока.

В октябре 2015 г. сотрудниками НИУ «МЭИ» проведена серия испытаний с целью обследования водно-химического режима парогазовой установки с дозированием хеламина марки 906Н с рабочей концентрацией 2 %. По его результатам было принято решение о проведении режимно-наладочных испытаний водно-химического режима котла-утилизатора с дозированием хеламина марки BRW150Н с различными рабочими концентрациями в штатном режиме работы энергоблока.

На первом этапе изучен водно-химический режим с дозированием хеламина марки 906Н с рабочей концентрацией 2 %. Анализ полученных в результате данных показал, что качество теплоносителя находилось в пределах нормируемых значений за исключением удельной электрической проводимости Н-катионированной пробы перегретого пара контура высокого давления котла-утилизатора и концентрации кислорода за КЭН I ступени (табл. 3). Значение рН теплоносителя в пароводяном тракте менялось в пределах 8,96...9,43. В целом по тракту значение рН составило примерно 9,0 за исключением рН перегретого пара контура низкого давления, равного 9,43, что обусловлено переходом аммиака, образующегося при разложении хеламина, в пар. Значение рН котловой воды контура низкого давления находилось на нижнем пределе временных норм и соответствовало общему фону рН по тракту. Удельная электрическая проводимость Н-катионированной пробы в пароводяном

Таблица 2

#### Временные нормы качества воды, пара и конденсата ПГУ-110

Показатель качества	Точка контроля						Основной конденсат
	ПВ НД	ПВ ВД	КВ НД	КВ ВД	ПП НД ПП ВД	НП НД НП ВД	
рН	8,7...9,2	8,7...9,2	8,9...9,6	8,9...9,6	≥8,5	≥8,5	8,7...9,2
УЭП/УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	—/≤ 0,5	—/≤ 0,5	—	≤ 10/—	—/≤ 0,5	—/≤ 0,5	—/≤ 0,5
Концентрация железа, мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 20	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Концентрация кремнекислоты, мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 20	≤ 20	≤ 200	≤ 200	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Концентрация растворенного кислорода, мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 20	≤ 20	—	—	—	—	≤ 20
Концентрация натрия, мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 10	≤ 10	—	—	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Жесткость, мкг-эquiv/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	≤ 0,5	—	—	—	—	≤ 0,5
Концентрация хеламина, мг/дм <sup>3</sup>	2...5	2...5	2...5*	2...5*	2...5	2...5	2...5

\*При растопочном режиме концентрация хеламина до 10 мг/дм<sup>3</sup>

Таблица 3

#### Усредненные показатели качества теплоносителя при дозировании реагента хеламина марки 906Н

Показатель качества	Точка контроля						
	ПВ НД	ПВ ВД	КВ НД	КВ ВД	НП ВД	ПП НД	ПП ВД
рН	9,21	9,17	8,96	9,22	9,05	9,43	9,14
УЭП Н-катионированной пробы (УЭП), мкСм/см	0,62	0,51	(3,05)	(5,35)	—	0,29	0,61
Концентрация железа, мкг/дм <sup>3</sup>	8	8	16	17	—	—	—
Концентрация кремнекислоты, мкг/дм <sup>3</sup>	Отс.	Отс.	Отс.	8,1	Отс.	Отс.	Отс.
Концентрация растворенного кислорода, мкг/дм <sup>3</sup>	7	5,5	—	—	—	—	—
Концентрация натрия, мкг/дм <sup>3</sup>	7,8	8,1	—	—	2,1	1,2	4,4
Жесткость, мкг-эquiv/дм <sup>3</sup>	0,39	0,50	—	—	—	—	—
Концентрация хеламина, мг/дм <sup>3</sup>	0,39	0,50	—	—	—	—	—

тракте энергоблока была в пределах нормируемых значений 0,29...0,62 мкСм/см. Концентрация железа в пароводяном тракте энергоблока не превышала нормируемых значений и менялась в диапазоне 8...17 мкг/дм<sup>3</sup>. Концентрация натрия в пароводяном тракте энергоблока также не превышала нормируемых значений и составила 1,2...1,8 мкг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация аммиака в перегретом паре контура низкого давления повышалась до 1259 мкг/дм<sup>3</sup>, что могло привести к коррозии медьсодержащих сплавов трубок конденсатора при концентрации кислорода свыше 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хеламина по тракту находилась в пределах нормируемых значений и была равна примерно 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, в результате обследования установлено, что при использовании хеламина марки 906 Н с рабочей концентрацией 2 % удельная электрическая проводимость Н-катионированной пробы перегретого пара контура высокого давления превышала значения, установленные временными нормами, а рН котловой воды контура низкого давления находилось на нижнем пределе значений, установленных этими же нормами. Поэтому было предложено перейти на использование реагента другой марки, а именно BRW 150Н, который характеризуется меньшим коэффициентом распределения между кипящей водой и насыщенным паром.

Следующим этапом было проведение режимно-наладочных испытаний водно-химического режима котла-утилизатора с дозированием хеламина BRW 150Н с различными рабочими концентрациями в штатном режиме работы энергоблока. Задачей данного этапа было доведение показателей качества питательной воды и пара до нормативных значений и определение опти-

мальных концентраций рабочих растворов реагента для коррекционной обработки питательной воды. Для решения поставленной задачи было изучено влияние концентрации реагента BRW 150Н на показатели качества воды и пара при работе блока в штатном режиме.

В соответствии с программой испытаний рабочий раствор хеламина BRW 150Н дозировали с концентрацией 2; 1,5; 1 %.

Результаты испытаний по влиянию концентрации хеламина BRW 150Н на качество питательной воды контура низкого и высокого давления приведены в табл. 4, 5.

Анализ полученных данных показал, что при снижении концентрации дозируемого реагента марки BRW 150Н с 2 до 1 % увеличивается концентрация железа в питательной воде контура низкого давления, но она не превышает нормируемых значений. Снижение концентрации реагента приводит к уменьшению концентраций натрия, меди и аммиака. Значение рН питательной воды контура низкого давления практически не меняется при снижении концентрации реагента. Удельная электрическая проводимость несколько уменьшается и при концентрации реагента в 1 % становится на уровне нормируемых значений.

Следует отметить, что при дозировании реагента хеламин BRW 150Н с концентрацией 2 % концентрация аммиака в питательной воде контура низкого давления будет выше, чем при использовании реагента хеламин 906Н в той же концентрации, что является предпосылкой к уменьшению концентрации рабочего раствора реагента BRW 150Н. Далее при снижении рабочей концентрации реагента до 1 % концентрация аммиака в питательной воде низкого давления понижается до 767 мкг/дм<sup>3</sup>. При этом было обнаружено устойчивое присутствие растворенного водорода в диапазоне 11...16 мкг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 4

#### Показатели качества питательной воды низкого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Питательная вода контура низкого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	8,7	8,6	8,1	7,5
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	7,7	10,9	7,5	8,3
рН	8,7...9,2	9,22	9,26	9,05	9,11
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	0,62	0,63	0,48	0,47
Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	5	9	3	1	—
O <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	7,6	18,2	10	8,5
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	16	13,9	14,1
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	874	1074	615	767

Таблица 5

## Показатели качества питательной воды высокого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Питательная вода контура высокого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	8,1	10	7,8	6,5
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	7,9	12,4	8,2	7,4
pH	8,7...9,2	9,17	9,25	9,04	9,15
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	0,51	0,48	0,29	0,28
Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	5	6	2	2	—
O <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	5,3	11,5	7,1	5,2
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	1,4	0,9	1
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	772	870	500	695

При падении концентрации дозируемого реагента в питательной воде контура высокого давления концентрации железа и меди практически не изменились и были ниже нормируемых значений. Концентрация натрия несколько уменьшилась и также была в пределах нормируемых значений. Величина pH не изменилась при снижении концентрации дозируемого реагента, а удельная электрическая проводимость снизилась.

Результаты режимно-наладочных испытаний водно-химического режима при использовании реагента марки BRW 150Н показали, что качество водного теплоносителя находилось в пределах норм при концентрации рабочего раствора 1 %, а концентрация хеламина в пароводяном тракте была одинаковой и составляла 1...2 мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты испытаний изменения качества насыщенного пара контуров низкого и высокого давления

приведены в табл. 6, 7, а качества перегретого пара контуров низкого и высокого давления — в табл. 8, 9.

Из полученных данных следует (см. табл. 6), что значения показателей качества насыщенного пара контура низкого давления практически не зависят от концентрации дозируемого реагента и не превышают значений, установленных нормами.

Значения нормируемых показателей качества перегретого пара низкого давления (см. табл. 7) практически не меняются при изменении концентрации реагента в питательной воде. Стоит отметить, что качество перегретого пара контура низкого давления соответствует нормируемым значениям при дозировании раствора хеламина BRW 150Н различной концентрации.

Анализ полученных (см. табл. 8, 9) данных показывает, что изменение концентрации реагента в питатель-

Таблица 6

## Показатели качества насыщенного пара низкого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 15

Показатель химического контроля	Насыщенный пар контура низкого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	—	9,8	10,8
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	—	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	—	—	2,5	2,5
pH	> 8,5	—	—	9,41	9,43
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	—	—	0,15	0,16
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	1,9	3	2,3
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	—	—	—

Таблица 7

Показатели качества насыщенного пара контура высокого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Насыщенный пар контура высокого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	10,6	10,1	10,8
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	2,1	2,8	2,5	2,3
pH	> 8,5	9,05	9,13	9,11	9,15
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	—	0,4	0,3	0,28
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	6,6	1,2	2
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	—	—	—

Таблица 8

Показатели качества перегретого пара низкого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Перегретый пар контура низкого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	10,5	6,1	7,8
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	1,2	2	2,1	2,4
pH	>8,5	9,44	9,51	9,45	9,43
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	0,29	0,4	0,28	0,28
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	5,1	7	5,6
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	1259	1693	981	1123

Таблица 9

Показатели качества перегретого пара контура высокого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150

Показатель химического контроля	Перегретый пар контура высокого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	7	9,4	13
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	20	—	Отс.	Отс.	Отс.
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	10	4,5	1,8	2,5	2,6
pH	>8,5	9,14	9,12	9,01	9,05
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	0,5	0,61	0,67	0,48	0,48
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	18,6	17,5	20,1
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	811	975	545	703

ной воде практически не влияет на нормируемые показатели качества насыщенного пара контура высокого давления. В целом показатели качества насыщенного пара высокого давления соответствуют нормам.

Показатели качества перегретого пара контура высокого давления (концентрация железа, натрия и рН) практически не зависят от концентрации реагента в питательной воде. Значение удельной электрической проводимости Н-катионированной пробы несколько снижается с уменьшением концентрации реагента, но находится в пределах, рекомендуемых нормами. Таким образом, полученные в ходе испытаний результаты показали, что качество насыщенного и перегретого пара высокого давления практически не зависит от концентрации рабочего раствора в исследованном диапазоне изменения его концентрации.

Результаты испытаний по изменению качества котловой воды в контурах низкого и высокого давления приведены в табл. 10, 11.

В результате проведения испытаний было установлено, что при снижении концентрации реагента содержание железа в котловой воде контура низкого давления возросло, но находилось в пределах нормируемого значения. Величина рН котловой воды практически не менялась при изменении концентрации дозируемого реагента. Также отметим, что показатель рН котловой воды контура низкого давления находился на нижнем пределе нормируемого значения. Таким образом, значения показателей качества котловой воды низкого давления соответствовали принятым для ПГУ нормам качества воды за исключением пониженных значений рН котловой воды низкого давления. Основные показатели качества котловой воды контура высокого давления не превышали нормируемых значений и практически не менялись при смене концентрации дозируемого реагента.

Сравнительный анализ результатов режимно-наладочных испытаний при использовании реагента хела-

Таблица 10

#### Показатели качества котловой воды контура низкого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Котловая вода контура низкого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	30	16	20,8	14	17
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	200	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
рН	8,9...9,6	8,96	9	8,85	8,97
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	1	0,7	0,8
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	515	—	—

Таблица 11

#### Показатели качества котловой воды контура высокого давления при использовании реагента марок 906 Н и BRW 150Н

Показатель химического контроля	Котловая вода контура высокого давления				
	Временная норма качества воды и пара	Период испытаний			
		906 Н 2%	BRW 150Н 2%	BRW 150Н 1,5%	BRW 150Н 1,0%
Нормируемые показатели					
Fe, мкг/дм <sup>3</sup>	30	17,5	25,3	18,3	16
SiO <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	200	8,1	6,6	5,9	5,1
рН	8,9...9,6	9,23	9,36	9,12	9,27
УЭП Н-катионированной пробы, мкСм/см	10	5,35	7,53	5,57	5,37
Диагностические показатели					
H <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	1,2	1	0,9
NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	Не норм.	—	584	—	—



мин марок 906Н и BRW 150Н показал, что после перехода на BRW 150Н с рабочей концентрацией 2 %:

- концентрация натрия в питательной воде низкого давления увеличилась в 1,5 раза по сравнению с дозированием реагента 906Н с той же концентрацией и превышала нормируемое значение;
- электропроводность Н-катионированной пробы питательной воды низкого давления превышала нормируемое значение в среднем на 0,12 мкСм/см;
- значение рН возросло до 9,26.

При снижении концентрации рабочего раствора BRW 150Н до 1 % качество питательной воды низкого давления соответствовало нормируемым значениям по всем показателям.

Анализ данных по качеству насыщенного и перегретого пара низкого давления (см. табл. 5, 6) показал, что с концентрацией 2% концентрация аммиака в перегретом паре была ниже, чем при дозировании хлорида аммиака марки BRW 150Н с той же концентрацией; значения рН были практически одинаковыми. Отметим высокие значения рН насыщенного и перегретого пара низкого давления на уровне 9,41...9,58, что свидетельствует о переходе аммиака, который является продуктом разложения хлорида аммиака, из котловой воды в насыщенный пар. В конденсатно-питательном тракте Вологодской ТЭЦ часть оборудования изготовлена из медьсодержащих сплавов, поэтому повышенная концентрация аммиака может привести к интенсификации коррозии медных сплавов, особенно в присутствии кислорода, и повышению концентрации меди в питательной воде. При дозировании реагента 906Н и BRW 150Н в одинаковом количестве концентрация натрия в перегретом паре низкого давления была несколько выше при использовании реагента BRW 150Н. Это может говорить о большем содержании дисперсантов в марке BRW 150Н. Концентрация железа находилась ниже установленной нормы (см. табл. 8).

Сравнение данных по качеству теплоносителя в контуре низкого давления при использовании реагента марок 906Н и BRW 150Н показало, что переход реагента с 906Н на BRW 150Н не оказывает существенного влияния на нормируемые показатели качества теплоносителя в контуре низкого давления.

Исходя из данных по качеству перегретого пара высокого давления, видно, что переход от реагента 906Н к BRW 150Н практически не повлиял на основные нормируемые показатели качества перегретого пара (см. табл. 9).

При использовании реагентов 906Н и BRW 150Н рН котловой воды контура низкого давления находится на нижнем пределе нормируемого значения. Для предотвращения его снижения ниже нормируемого значения необходимо предусмотреть точку ввода щелочи в барабан низкого давления. Сравнение данных по качеству котловой воды контура высокого давления при дозировании реагента 906Н и BRW 150Н в одном и том же количестве показывает, что основные нормируемые показатели не изменились (см. табл. 11).

Исходя из полученных результатов, можно сделать заключение, что при использовании реагента BRW 150Н оптимальные и стабильные значения нормируемых показателей качества теплоносителя были получены при дозировании данного реагента в концентрации 1%. Удельный расход реагента BRW 150Н при концентрации рабочего раствора 1 % в два раза меньше по сравнению с дозированием реагента 906Н при концентрации рабочего раствора 2 %.

Таким образом, анализ водно-химического режима при использовании пленкообразующего амина марки 906Н с концентрацией рабочего раствора 2 % показал, что удельная электропроводность Н-катионированной пробы перегретого пара контура высокого давления превышает нормируемое значение и составляет 0,65 мкСм/см, рН котловой воды в контуре низкого давления соответствует нижнему пределу нормируемого диапазона и равен 8,9.

В результате проведенных испытаний было установлено, что переход с реагента 906Н на BRW 150Н обеспечивает необходимое качество теплоносителя в пределах нормируемых значений при оптимальной концентрации рабочего раствора пленкообразующего амина BRW 150Н в 1 %. Удельный расход концентрированного реагента при концентрации рабочего раствора 1 % составил 12 г/м<sup>3</sup>.

На основании полученных данных были определены оптимальные и предельные значения концентрации реагента марки BRW 150Н в пароводяном тракте, при которых во всем объеме эксплуатационных нагрузок котла-утилизатора обеспечивалась бы выработка насыщенного и перегретого пара, по своему качеству отвечающего требованиям норм, установленных заводом-изготовителем основного оборудования, при условии достаточного качества добавочной воды в соответствии с требованиями ПТЭ.

## Литература

1. Ларин Б.М. Анализ результатов автоматического химического контроля качества водного теплоносителя барабанного котла Ивановской ТЭС-3 // Теплоэнергетика. 2012. № 10. С. 65—70.
2. Егошина О.В., Воронов В.Н., Назаренко М.П. Современное состояние систем химико-технологического мониторинга на тепловых станциях на основе опыта МЭИ и НПЦ «Элемент» // Теплоэнергетика. 2014. № 3. С. 39—45.
3. Ларин Б.М. Состояние технологии подготовки водного рабочего тела на отечественных ТЭС // Теплоэнергетика. 2014. № 1. С. 75—80.
4. Петрова Т.И., Фурунжиева А.В. Использование хлорида аммиака на тепловых электростанциях с барабанными котлами // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. № 1. С. 3—9.
5. Суслов С.Ю. и др. Комплексные реагенты на основе аминов // Теплоэнергетика. 2017. № 3. С. 92—96.

6. **Петрова Т.И. и др.** Влияние физико-химических параметров на переход аминов из кипящей воды в насыщенный пар // Вестник МЭИ. 2013. № 4. С. 36—41.

7. **Kelm W.** Use of an Organic Conditioning Chemical in Cycle with Drum-Type Boilers in the PCK Schwedt. Power Plant Chemistry // Feedwater and Boiler Water Treatment in Industrial, Co-Generation, and Refuse Incineration Plants and Units with Heat Recovery Steam Generators. Mannheim, 2000. No. 6.

8. **Суслов С.Ю. и др.** Опыт ведения водно-химического режима с применением хеламина на энергоблоках ПГУ-39 Сочинской ТЭС // Теплоэнергетика. 2012. № 7. С. 15—21.

9. **Kazno Marugame, Li-Bin Niu, Hiroshi Takaku.** Behavior of Magnetite Crown from Amine-Carboxylate and Amine-Aqueous Solutions // Power Plant Chem. 2005. V. 7(10).

## References

1. **Larin B.M.** Analiz Rezul'tatov Avtomaticheskogo Himicheskogo Kontrolya Kachestva Vodnogo Teplonositelya Barabannogo Kotla Ivanovskoy TES-3. Teploenergetika. 2012;10:65—70. (in Russian).

2. **Egoshina O.V., Voronov V.N, Nazarenko M.P.** Sovremennoe Sostoyanie Sistem Himiko-tekhnologicheskogo Monitoringa na Teplovyh Stantsiyah na Osnove Opyta MPEI i NPTS «Element». Teploenergetika. 2014;3:39—45. (in Russian).

3. **Larin B.M.** Sostoyanie Tekhnologii Podgotovki Vodnogo Rabocheho Tela na Otechestvennyh TES. Teploenergetika. 2014;1:75—80. (in Russian).

4. **Petrova T.I., Furunzhieva A.V.** Ispol'zovanie Helamina na Teplovyh Elektrostantsiyah s Barabannymi Koblami. Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 2004;1:3—9. (in Russian).

5. **Suslov S.Yu. i dr.** Kompleksnye Reagenty na Osnove Aminov. Teploenergetika. 2017;3:92—96. (in Russian).

6. **Petrova T.I. i dr.** Vliyanie Fiziko-himicheskikh Parametrov na Perekhod Aminov iz Kipyashchey Vody v Nasyshchenny Par. Vestnik MPEI. 2013;4:36—41. (in Russian).

7. **Kelm W.** Use of an Organic Conditioning Chemical in Cycle with Drum-Type Boilers in the PCK Schwedt. Power Plant Chemistry. Feedwater and Boiler Water Treatment in Industrial, Co-Generation, and Refuse Incineration Plants and Units with Heat Recovery Steam Generators. Mannheim, 2000;6.

8. **Suslov S.Yu. i dr.** Opyt Vedeniya Vodno-himicheskogo Rezhima s Primeneniem Helamina na Energbloках PГУ-39 Sochinskoy TES. Teploenergetika. 2012;7:15—21. (in Russian).

9. **Kazno Marugame, Li-Bin Niu, Hiroshi Takaku.** Behavior of Magnetite Crown from Amine-Carboxylate and Amine-Aqueous Solutions. Power Plant Chem. 2005;7(10).

## Сведения об авторах

**Петрова Тамара Ивановна** — доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича НИУ «МЭИ», e-mail: Petrovati@mpei.ru

**Егошина Ольга Владимовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича НИУ «МЭИ», e-mail: yegoshinaov@gmail.com

**Большакова Наталия Алексеевна** — ассистент кафедры теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича НИУ «МЭИ», e-mail: makarishcheva-na@ya.ru

**Яровой Виталий Олегович** — ассистент кафедры теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича НИУ «МЭИ», e-mail: yarovoyvo@gmail.com

**Рыбина Светлана Станиславовна** — начальник химического цеха Вологодской ТЭЦ, e-mail: rybinass@tgc-2.ru

## Information about authors

**Petrova Tamara I.** — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Theoretical Bases of Heat Engineering named after M.P. Vukalovich Dept., NRU MPEI, e-mail: Petrovati@mpei.ru

**Yegoshina Olga V.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Theoretical Bases of Heat Engineering named after M.P. Vukalovich Dept., NRU MPEI, e-mail: yegoshinaov@gmail.com

**Bol'shakova Nataliya A.** — Assistant of Theoretical Bases of Heat Engineering named after M.P. Vukalovich Dept., NRU MPEI, e-mail: makarishchevana@ya.ru

**Yarovoy Vitaliy O.** — Assistant of Theoretical Bases of Heat Engineering named after M.P. Vukalovich Dept., NRU MPEI, e-mail: yarovoyvo@gmail.com

**Rybina Svetlana S.** — Chief of the Chemical Dept. of the of Vologda Combined Heat and Power, e-mail: rybinass@tgc-2.ru

*Статья поступила в редакцию 27.03.2017*