

УДК 621.187.11

## Предпусковая водно-химическая очистка котла-утилизатора ПГУ-410 с использованием хеламина BRW 150H

А.Ю. Будаева, Е.Н. Бушуев  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
admin@xste.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** В последние годы в отечественной и зарубежной практике для коррекции водно-химического режима барабанных котлов и консервации оборудования все шире применяется дозирование в пароводяной тракт комплексных аминосодержащих соединений, которые представляют собой смесь летучих и поверхностно-активных аминов. Имеется как положительный, так и отрицательный опыт применения аминов при ведении водно-химического режима на отечественных ТЭС и АЭС. Несмотря на длительный опыт применения этих веществ в энергетике, их химические и эксплуатационные свойства описаны в технической литературе совершенно недостаточно. Необходима реальная оценка физико-химических свойств аминов и поведения их растворов в условиях теплоэнергетических установок, на основе которой возможно дать рекомендации по их эффективному использованию.

**Материалы и методы:** При исследовании состава реагента товарной марки Helamin BRW 150H использованы методы количественного химического анализа. Выполнена индивидуальная проверка данного реагента в лабораторных и промышленных условиях.

**Результаты:** Экспериментально определены первичные химико-технологические свойства хеламина BRW 150H в условиях предпусковой водно-химической очистки парового котла. Предложено уравнение, описывающее массообмен при водно-химической очистке котла-утилизатора ПГУ-410 МВт, и оценены значения ее констант. Установлены особенности поведения продуктов коррозии при водно-химической очистке до и после ввода хеламина в контур котла-утилизатора ПГУ-410 МВт и даны рекомендации по планированию ее химической стадии.

**Выводы:** Полученные экспериментальным путем данные должны учитываться при управлении коррекционной обработкой котловой воды, что позволит обеспечить наиболее быстрое и полное ее проведение в нужном направлении и при условиях, наиболее приемлемых для производственных масштабов.

**Ключевые слова:** водно-химический режим, барабанный котел, пароводяной тракт, комплексные аминосодержащие соединения, поверхностно-активные амины, хеламин, водно-химическая очистка, котел-утилизатор.

## Preoperational chemical treatment of water in heat recovery boilers PGU-410 using helamin BRW 150H

A.Yu. Budayeva, E.N. Bushuyev  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
admin@xste.ispu.ru

### Abstract

**Background:** It has recently become increasingly wide-spread in Russia and other countries to add complex amine compounds, which represent a mixture of volatile and surface-active amines, into the steam-water circuit for adjusting chemical conditions of drum boiler water and preservation of equipment. There are both positive and negative results of using amines to adjust chemical conditions of water at Russian thermal and nuclear power plants. Despite the long experience of using these substances in power engineering, their chemical and operating characteristics are insufficiently described in technical literature. Thus, it is urgent to make a real assessment of the physicochemical properties of amines and their solutions in thermal power plants conditions, and use the assessment results for making recommendations on the efficient application of amines.

**Materials and methods:** The methods of quantitative chemical analysis were used to study the composition of the reagent Helamin BRW 150H. The reagent was tested both in laboratory and industrial conditions.

**Results:** Primary chemical and technological properties of HELAMIN BRW 150H were experimentally determined in conditions of preoperational water chemical treatment of a steam boiler. An equation was suggested for describing mass transfer during chemical water treatment in the PGU-410 MW heat recovery boiler and for obtaining the values of its constants. The behaviour of corrosion products under water chemical treatment before and after introducing HELAMIN into the PGU-410 MW boiler circuit was studied, and recommendations were given for chemical treatment stage planning.

**Conclusions:** The experimentally obtained data should be taken into account in the management of boiler water adjustment, which will ensure free and rapid flow of the water in the right direction under conditions most suitable for industrial production.

**Key words:** water chemical conditions, drum boiler, steam-water circuit, complex amine compounds, surface-active amines, Helamin, chemical treatment of water, heat recovery boiler.

**DOI:** 10.17588/2072-2672.2016.6.020-026

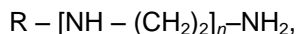
**Введение.** При проектировании новых ТЭС предпочтение отдается энергоблокам, основанным на парогазовых термодинамических циклах. При этом из-за конструктивных особенностей котлов-утилизаторов (КУ) предъявляются особенно жесткие требования к их водно-химическому режиму (ВХР) [1].

Применяемые традиционные технологии ведения ВХР барабанных котлов, такие как обработка питательной воды гидразином и аммиаком и котловой воды фосфатами, имеют ряд достоинств и недостатков [2]. К основным недостаткам относятся:

- токсичность гидразина-гидрата;
- недостаточно эффективная защита от отложений и коррозии всего оборудования пароводяного тракта ТЭС;
- применение нескольких реагентов для коррекционной обработки теплоносителя;
- необходимость использования дополнительных реагентов для защиты от стояночной коррозии при ремонте и простое оборудования ТЭС<sup>1</sup>.

В современной практике для коррекции качества водного теплоносителя барабанных котлов, в том числе КУ, и, одновременно, для консервации теплоэнергетического оборудования (ТЭО) в пароводяной тракт дозируются поверхностно-активные аминосодержащие соединения, которые представляют собой смесь летучих и поверхностно-активных аминов (ПОА, полиамины).

**Состояние вопроса.** На ТЭС Европы, России, а также на ряде электростанций Белоруссии и Казахстана в качестве заменителя аммиака, гидразин-гидрата и фосфатов используется реагент под названием хеламин [3, 4]. Данный продукт представляет собой смесь поликарбоксилатов, насыщенных алкилполиаминов, полиаминов, летучих полиаминов с подщелачивающим эффектом. Структура основного активного компонента ПОА типа Helamin описывается формулой



где «n» может изменяться от 1 до 7; R – алифатическая цепь с C<sub>12</sub> и C<sub>20</sub> доминирующим.

ПОА в основном представляют собой первичные, вторичные и третичные амины с одной или несколькими функциональными группами, которые, помимо азота, содержат длинные алкильные цепочки, состоящие из

12–20 атомов углерода. Такая цепочка может быть либо насыщенной, либо ненасыщенной. Это делает их обычными компонентами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Это означает, что положительно заряженные аминогруппы ориентируются в сторону отрицательно заряженной поверхности стали и адсорбируются на ней, а жирные гидрофобные радикалы направлены в сторону от этой поверхности адсорбции.

Первичное защитное действие ПОА основано на формировании адсорбционного слоя на всей поверхности металла, с которой соприкасается среда, содержащая ПОА. Затем адсорбционный слой ПОА внедряется в слой поверхностных химических соединений, в которые, кроме полиаминов, входят атомы металлов, их химические соединения, а также вещества, находившиеся в воде. В результате создается слой поверхностных соединений, которые защищают металл от воздействия на него не только угольной кислоты, но и кислорода, а также других агрессивных веществ. В условиях эксплуатации ТЭО защитный слой поддерживается при постоянной дозировке ПОА. Длительность защитного действия хеламинов в условиях консервации ТЭО невелика: гарантийная длительность консервации хеламином опорожденного КУ – один месяц. Из-за гидрофильности его участков происходит смыв пленки конденсатом водяных паров [2, 3].

Несмотря на длительный опыт применения ПОА в энергетике, их химические и эксплуатационные свойства описаны в технической литературе совершенно недостаточно. Необходима реальная оценка физико-химических свойств данных реагентов и поведения их растворов в условиях теплоэнергетических установок. Это относится и к условиям применения, и даже к условиям хранения, например, при комнатной температуре.

**Материалы и методы лабораторных исследований.** Для планирования опытов необходима первичная информация, которую можно получить экспериментально. В лабораторных опытах экспериментальным путем можно определить, какой из компонентов товарного продукта хеламин придает композиции нужные технологические свойства. В сопровождающей документации на данный реагент отсутствуют некоторые сведения<sup>2</sup>:

<sup>1</sup>РД 153-34.1-37.534-2002. Временный регламент по коррекционной обработке хеламином теплоносителя котлов давлением 2,4–13,8 МПа (хеламинный водно-химический режим).

<sup>2</sup>Экспертное заключение «Ингибиторы коррозии и отложений марок: «HelaminBRW 150 Н..».

– о массовой доле аналитически определяемого вещества, названного разработчиками хеламином;

– о плотности, показателе pH<sub>25</sub>, удельной электропроводности водных растворов реагента;

– о константе диссоциации (гидролиза) и т.д.

Одной из основных задач исследования является определение технологически важных свойств водных растворов хеламина товарной марки BRW 150H в зависимости от степени его разбавления обессоленной водой. Разбавление раствора проведено в 10–100000 раз (рис. 1).

Для каждого раствора с определенной степенью разбавления измерены:

– удельная электропроводность, мкСм/см (измерение проводилось кондуктометром «ООО ВЗОР»);

– показатель pH (устройство для измерения – pH-милливольтметр НПП «Техноприбор»);

– плотность раствора, кг/м<sup>3</sup> (определялась ареометром);

– концентрация аналитически определяемого вещества – хеламина, мг/дм<sup>3</sup> (определение концентрации хеламина проводилось с помощью полиамин-теста).



Рис. 1. Разбавленные растворы хеламина

**Результаты лабораторных исследований.** Результаты экспериментальных исследований сведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства растворов товарного хеламина марки BRW 150H, полученные в результате эксперимента

Параметр	Степень разбавления товарного продукта					
	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
Удельная электропроводность раствора, мкСм/см	>5000	3365	783,3	163,9	32,3	7,02
pH <sub>25</sub>	11,83	11,7	11,15	10,4	9,5	7,07
Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	1,016	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993
Концентрация хеламина в растворе, г/дм <sup>3</sup>	209	20,9	2,09	0,210	0,220	0,010

По итогам лабораторных исследований проведено следующее:

– рассчитана массовая доля аналитически определяемого вещества в неразбавленном растворе:

$$\omega_{\text{хел}} = \frac{C_{\text{хел}}^{\text{разб}}}{\rho_{\text{хел}}^{\text{конц}}} = \frac{209}{1000 \cdot 1,016} = 0,206 \text{ или } 20,6 \%;$$

– оценена условная (кажущаяся) константа диссоциации (гидролиза) хеламина, описываемая химическим уравнением  $\text{RNH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{RNH}_3^+ + \text{OH}^-$ :

$$K = \frac{a_{\text{RNH}_3^+} \cdot a_{\text{OH}^-}}{C_{\text{RNH}_2} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}}};$$

– рассчитана рK\* для водных растворов хеламина в диапазоне концентраций от 209 до 10 мг/дм<sup>3</sup>:

$$\text{pK}^* = 2\text{pOH} - \text{pA} = 2(\text{pK}_w - \text{pH}) - \text{pA}.$$

Полученные результаты расчета условной константы гидролиза приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения условной константы гидролиза хеламина

рC <sub>хел</sub>	5,32	4,32	3,32	2,32	1,34	1
рK	9,66	8,92	9,02	9,52	10,34	14,86

**Материалы и методы промышленных исследований.** На основании определенной массовой доли проведен расчет потребности в товарном хеламине марки BRW 150 H для водно-химической очистки (ВХО) КУ.

Технология проведения предпусковой химической очистки теплоэнергетического оборудования путем обеспечения циркуляции раствора кислот по замкнутым контурам с включением в них пароводяного тракта котла, трубопроводов и других элементов питательного тракта является многостадийной, дорогостоящей и опасной в экологическом отношении операцией. Ее проведение требует специальных емкостей и насосов для приготовления и

хранения концентрированных растворов агрессивных реагентов, специальных насосов химической очистки (для подачи в контуры и циркуляции в них растворов реагентов), оборудования для сбора и нейтрализации промышленных растворов. При этом для защиты от коррозии очищенного металла необходима его незамедлительная обработка пассивирующими растворами или продувка высокотемпературным паром<sup>3</sup>.

В 2015 году проведена предпусковая водно-химическая очистка (ПВХО) КУ энергоблока ПГУ-410 МВт.

Технология и схема ВХО разработаны с учетом требований следующих документов:

– «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РАО «ЕЭС России», СО 153-34.1-37.534-2003 (ПТЭ);

– «Методические указания по предпусковой водно-химической отмывке и консервации высокомолекулярными аминами», СТО ВТИ от 37.003.2009 г.;

– «Рекомендации по проведению послемонтажной консервации КУ от коррозии на период хранения и транспортировки», ИЦ «ЭМАльянс».

Химическая очистка производилась в два этапа ввода раствора хеламина в контур КУ ПГУ-410. Технологические характеристики ввода хеламин представлены в табл. 3.

Таблица 3. Технологические данные для ввода хеламин №1 и №2

Наименование	Ввод хеламин №1	Ввод хеламин №2
Количество загруженного хеламин, кг	120	84
Расчетная концентрация хеламин в воде дренажного бака (ДБ), кг/м <sup>3</sup>	4,4	4,25
Расчетная концентрация хеламин в воде контура без учета его сорбции стенками с ПК и шламом, г/м <sup>3</sup>	176	187
Фактическая концентрация хеламин после его перемешивания, г/м <sup>3</sup>	25	40
Удельное количество хеламин, сорбированного стенками с ПК и шламом, г/м <sup>2</sup>	1,89	1,84
Суммарное удельное количество хеламин, сорбированного стенками с ПК и шламом, г/м <sup>2</sup>	3,73	

**Примечание:** водный объем контура очистки  $V_c = 500 \text{ м}^3$ , площадь очищаемых поверхностей нагрева  $S_{\text{вн}} = 40\,000 \text{ м}^2$

<sup>3</sup>СТО ВТИ 37.003-2009. Методические указания по предпусковой водно-химической отмывке и консервации высокомолекулярными аминами типа хеламин с диспергатором котлов-утилизаторов и трубопроводов блоков парогазовых и отопительных газотурбинных установок ТЭЦ. – М.: ОАО «ВТИ», 2009.

Определено, с учетом двух вводов в контур, суммарное удельное количество хеламин, сорбированного стенками с продуктами коррозии (ПК) и шламом, которое составило  $3,73 \text{ г/м}^2$ .

Полученные данные в ходе расчета также приведены в табл. 3.

В целях получения дополнительных данных для технологического расчета ВХО составлено обобщенное уравнение материального баланса массовых концентраций соединений железа, концентрации хеламин и на этой базе выполнены расчеты коэффициента сноса, потребности в товарном хеламине и эффективности водообмена при ВХО.

Для идентификации уравнения использованы данные химического контроля, полученные при ВХО КУ ПГУ-410.

Обобщенное уравнение материального баланса соединений железа и концентрации хеламин для ВХО, составленное на основании методики В.В. Герасимова для исследования эффективности систем ведения ВХР реакторных контуров ВВЭР [5], имеет вид

$$V \frac{dC_{\text{Fe}}}{d\tau} = \xi HS - QC_{\text{Fe}} - L, \quad (1)$$

где  $V$  – водный объем контура очистки, м<sup>3</sup>;  $C_{\text{Fe}}$  – концентрация продуктов коррозии в водном теплоносителе, г/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, с;  $\xi$  – удельная загрязненность внутренних поверхностей нагрева, г/м<sup>2</sup>;  $H$  – смыв загрязнений с поверхностей нагрева, 1/ч;

$$H = K_c h, \quad (2)$$

$K_c$  – коэффициент сноса загрязнений, м<sup>3</sup>/(г<sub>хел</sub>·ч);  $h$  – толщина загрязнений, м;  $S$  – площадь внутренних поверхностей нагрева, м<sup>2</sup>;  $Q$  – расход воды при водообмене, м<sup>3</sup>/ч;  $L$  – поток массы шлама в застойных зонах котла, г/ч:

$$L = kC_{\text{Fe}}, \quad (3)$$

$k$  – коэффициент осаждения, м<sup>3</sup>/ч.

$$\text{Для стационарного режима } V \frac{dC_{\text{Fe}}}{d\tau} = 0$$

уравнение материального баланса (1) можно записать как

$$\xi HS = QC_{\text{Fe}} + L. \quad (4)$$

Преобразовав уравнения (2)–(4), можно выразить коэффициент сноса (смыва) загрязнений с внутренних поверхностей нагрева:

$$K_c = \frac{C_{\text{Fe}}(k + Q)}{\xi h S}. \quad (5)$$

С использованием этой зависимости произведена оценка:

– доли продуктов коррозии, оседающих в застойных зонах шлама (барабан, коллекторы и деаэрационный бак):

$$X_{\text{лш}} = \frac{k}{k + Q};$$

– доли продуктов коррозии, выводимых из контура при водообмене:

$$X_{\text{ВО}} = \frac{Q}{k + Q}.$$

Коэффициент сноса продуктов коррозии рассчитан для трех случаев:

1) при отсутствии шлама в застойных зонах ( $k = 0$ ,  $X_{\text{лш}} = 0$ ) зависимость (5) примет вид

$$K_c = \frac{C_{\text{Fe}} Q}{\xi h S};$$

2) при равной «эффективности» водообмена (продувки с подпиткой) и осаждения шлама в застойных зонах в процессе освобождения моющего раствора от шлама примем  $k = Q$ ,  $X_{\text{лш}} = X_{\text{ВО}}$ , в этом случае уравнение (5) примет вид

$$K_c = \frac{C_{\text{Fe}} \cdot 2Q}{\xi h S};$$

3) при преимущественном осаждении шлама в застойных зонах котла и неэффективном водообмене (при  $k = 9Q$ ,  $X_{\text{лш}} = 0,9$ ,  $X_{\text{ВО}} = 0,1$ ) зависимость (5) примет вид

$$K_c = \frac{C_{\text{Fe}} \cdot 10Q}{\xi h S}.$$

Расчет коэффициентов сноса загрязнений с внутренних поверхностей нагрева произведен в среде Microsoft Excel. Для этой цели использовались данные химических анализов, полученных при ВХО КУ. Результаты расчета коэффициентов сноса продуктов коррозии в зависимости от расхода воды при водообмене приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения коэффициентов сноса продуктов коррозии

Значения коэффициента осаждения $k$	Доля ПК в застойных зонах шлама	Доля ПК, удаляемых при водообмене	Значения коэффициента сноса $K_c$	
			$C_{\text{хел}}=25$ мг/дм <sup>3</sup>	$C_{\text{хел}}=50$ мг/дм <sup>3</sup>
$k = 0$	0	1,0	$1,81 \cdot 10^{-8}$	$0,946 \cdot 10^{-8}$
$k = Q$	0,5	0,5	$3,62 \cdot 10^{-8}$	$1,89 \cdot 10^{-8}$
$k = 9Q$	0,9	0,1	$18,1 \cdot 10^{-8}$	$9,46 \cdot 10^{-8}$

Анализ полученных результатов (табл. 4) показывает, что эффективность вывода продуктов коррозии при водообмене увеличена при больших значениях коэффициента сноса хеламином продуктов коррозии. А это наблюдается при «залповом» вводе хеламин в контур. В результате такого ввода происходит смыв продуктов коррозии с внутренних поверхностей, сорбция полиаминов их частицами и уменьшение аналитически определяемой концентрации хеламин. Чем больший смыв продуктов коррозии достигнут, тем меньше эта концентрация. Данный факт выражается в больших значениях коэффициента сноса  $K_c$  при меньших остаточных концентрациях хеламин.

Как видно из опытных данных, большое значение для получения положительного ре-

зультата ВХО имеет ее период при залповом вводе хеламин. Последующий период нужен для удержания в моющем растворе продуктов коррозии и их вывода при водообмене.

Следует подчеркнуть необходимость ВХО при максимальной эффективности вывода продуктов коррозии при водообмене. В этом случае не потребуются трудоемкая работа по вскрытию, очистке и закрытию коллекторов КУ.

Опыт ПВХО КУ ПГУ-410 позволяет сделать следующие выводы:

– холодная водная промывка по разомкнутой схеме должна быть скоростной;

– горячая водная промывка по замкнутым схемам должна быть скоростной с эффективным водообменом. Ограничение водообмена, например, со стороны барботажного парового нагрева воды в деаэраторе, недопустимо;

– при вводе хеламин в контур циркуляции происходит неизученное явление быстрого осаждения взвешенных (коллоидных и грубодисперсных примесей) продуктов атмосферной коррозии и других соединений. Массовая концентрация соединений железа быстро уменьшается. Одновременно с этим уменьшается концентрация хеламин до значения, существенно меньшего расчетной концентрации хеламин в приготавливаемом растворе.

Этот эффект «прятания» загрязнений и хеламин похож на их флокуляцию. Роль флокулянта выполняет хеламин. Такая аналогия противоречит общепринятым представлениям о природе аминов (они катионактивные) и продуктов коррозии (их коллоиды заряжены положительно). По нашему мнению, этот факт можно объяснить следующим:

– диспергированием на поверхности труб отложений поверхностно-активными компонентами хеламин (эффект Ребиндера);

– флокуляцией взвешенных частиц в объеме моющего раствора и осаждением в застойных зонах шлама.

Цвет примесей моющего раствора при вводе хеламин быстро изменяется с рыжего на темно-серый (до черного). Моющий раствор осветляется. Концентрация соединений железа в нем уменьшается в 6–10 раз.

**Выводы.** По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Массовая доля аналитически определяемого вещества в хеламин в техническом продукте BRW 150H составляет 20 %. Этот параметр технического продукта может быть использован в расчетах систем дозирования хеламин как при коррекционной обработке вод, так и для ВХО.

2. С увеличением степени (кратности) разбавления хеламин показатель  $pH_{25}$  его растворов уменьшается.

3. Условная (кажущаяся) константа гидролиза в широком диапазоне концентраций практически неизменна, но в области малых

концентраций уменьшена. При этом уменьшен и  $pH_{25}$  водного раствора. Причину данного факта определить с использованием полученных данных оказалось невозможно. Теоретически степень гидролиза увеличивается при уменьшении концентрации гидролизующего вещества. В данном случае наблюдается противоположный эффект, требующий дополнительных опытов для его понимания. Одно из возможных объяснений связано с уменьшением активности недиссоциированного вещества из-за его перехода в коллоидное состояние.

4. Естественно, представление о хеламине как о первичном аминe с одной аминогруппой является неправильным: в углеводородных цепях некоторых химических составляющих хеламина содержится до 10 аминогрупп. Особенности их расположения в углеводородной молекуле влияют на значения констант гидролиза. Поэтому простое описание гидролиза невозможно. Невозможна и характеристика щелочных свойств полиаминов одной константой гидролиза. Тем не менее оценка условной константы гидролиза может оказаться полезной в расчете значений  $pH$  хеламина (полиаминов) в условиях применения. Полезность такого подхода к описанию их щелочных свойств может быть подтверждена или опровергнута только экспериментально. Альтернативный способ описания щелочных свойств полиаминов состоит, например, в построении номограмм, дающих графическое представление зависимости  $pH$  растворов от аналитически определяемых концентраций полиаминов и других примесей. Аналогом таких номограмм является диаграмма Мостофина для системы «вода–аммиак–диоксид углерода». Практическое значение диаграммы Мостофина не может быть опровергнуто [6, 7].

5. По данным сертификата на технический продукт, его основной компонент, определяющий щелочные свойства композиции, это циклогексиламин (ЦГА). Константа диссоциации ЦГА при температуре 20 °C имеет порядок  $10^{-6}$ . Экспериментальные значения условной константы гидролиза хеламина существенно меньше. В рабочем диапазоне концентраций они имеют порядок  $10^{-8}$ , что меньше, чем для аммиака. Зависимость щелочных свойств хеламина от его концентрации должна учитываться при выборе режима коррекционной обработки питательной воды.

*Будаева Алена Юрьевна*,  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант кафедры химии и химических технологий в энергетике,  
e-mail: abdvalenka@mail.ru

*Budayeva Alyona Yuryevna*,  
Ivanovo State Power Engineering University,  
post-graduate student of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in Power Engineering,  
e-mail: abdvalenka@mail.ru

## Список литературы

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 584 с.
2. Богачев А.Ф. Хеламинный водно-химический режим котлов-утилизаторов парогазовых установок // Электрические станции. – 2006. – № 7. – С. 33–36.
3. Суслов С.Ю., Кирилина А.В., Сергеев И.А., Соколова Е.А., Суслов И.С., Бороздина Л.А. Опыт ведения водно-химического режима с применением хеламина на энергоблоках ПГУ-39 Сочинской ТЭС // Теплоэнергетика. – 2012. – № 7. – С. 15–21.
4. Bursik A. Polyamine/Amine Treatment – A Reasonable Alternative for Conditioning High Pressure Cycles with Drum Boilers // Power Plant Chemistry. – 2004. – № 6. – P. 549–555.
5. Герасимов В.В., Касперович А.И., Мартынова О.И. Водный режим атомных электростанций. – М.: Атомиздат, 1976. – 400 с.
6. Мостофин А.А. Расчет значений  $pH$  и удельной электропроводности водных растворов  $NH_3$  и  $CO_2$  // Водоподготовка, водный режим и химконтроль на паросиловых установках. Вып. 2. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 178–186.
7. Мостофин А.А. Кондуктометрический контроль процесса аминирования и его особенности // Теплоэнергетика. – 1971. – № 2. – С. 75–78.

## References

1. Tsanev, S.V., Burov, V.D., Remezov, A.N. *Gazoturbinnyye i parogazovyye ustanovki teplovykh elektrostantsiy* [Gas-turbine and combined-cycle units of thermal power plants]. Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2002. 584 p.
2. Bogachev, A.F. *Khelaminnyy vodno-khimicheskiy rezhim kotlov-utilizatorov parogazovyykh ustanovok* [Water chemical conditions of heat recovery boilers of combined-cycle plants]. *Elektricheskie stantsii*, 2006, no. 7, pp. 33–36.
3. Suslov, S.Yu., Kirilina, A.V., Sergeyev, I.A., Sokolova, E.A., Suslov, I.S., Borozdina, L.A. *Opyt vedeniya vodno-khimicheskogo rezhima s primeneniem khelamina na energoblokakh PGU-39 Sochinskoy TES* [Experience in management of water chemical conditions by using helamin at PGU-39 power generating units of Sochi Thermal Power Plant]. *Teploenergetika*, 2012, no. 7, pp. 15–21.
4. Bursik, A. Polyamine/Amine Treatment – A Reasonable Alternative for Conditioning High Pressure Cycles with Drum Boilers. *Power Plant Chemistry*, 2004, no. 6, pp. 549–555.
5. Gerasimov, V.V., Kasperovich, A.I., Martynova, O.I. *Vodnyy rezhim atomnykh elektrostantsiy* [Water conditions of nuclear power plants]. Moscow, Atomizdat, 1976. 400 p.
6. Mostofin, A.A. *Raschet znacheniy pH i udel'noy elektroprovodnosti vodnykh rastvorov  $NH_3$  i  $CO_2$*  [Calculation of pH values and conductivity of aqueous solutions of  $NH_3$  and  $CO_2$ ]. *Vodopodgotovka, vodnyy rezhim i khimkontrol' na parosilovyykh ustanovkakh*. Moscow; Leningrad, Energiya, 1966, issue 2, pp. 178–186.
7. Mostofin, A.A. *Konduktometricheskyy kontrol' protsessa aminirovaniya i ego osobennosti* [Conductometric control of amination and its features]. *Teploenergetika*, 1971, no. 2, pp. 75–78.

*Бушуев Евгений Николаевич,*  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике,  
телефон (4932) 26-99-32,  
e-mail: admin@xhte.ispu.ru

*Bushuyev Evgeny Nikolayevich,*  
Ivanovo State Power Engineering University,  
Doctor of Engineering, Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in Power Engineering,  
tel. (4932) 26-99-32,  
e-mail: admin@xhte.ispu.ru