

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-167-175

УДК 621.165

## Определение необходимых условий эффективной работы системы шариковой очистки трубок конденсаторов паровой турбины

Часть 1

А. Г. Герасимова<sup>1)</sup>, А. В. Мальгин<sup>2)</sup>, Ю. Н. Александр<sup>3)</sup>, Е. Н. Крикшина<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

<sup>2)</sup>Минская ТЭЦ-4 (Минск, Республика Беларусь),

<sup>3)</sup>ООО «ИСТОК-Энерго» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** Рассмотрено актуальное направление – повышение мощности турбоагрегатов путем улучшения условий теплопередачи в конденсаторах паровых турбин. Проведен анализ микрозагрязнений внутренних поверхностей охлаждающих трубок и влияния загрязненности на процесс теплопередачи в конденсаторах турбин. Изучен существующий способ очистки конденсаторных трубок с помощью пористых эластичных шариков из губчатой резины, который реализован на ряде крупных ТЭЦ и ГРЭС Республики Беларусь. При эксплуатации системы шариковой очистки выявлен существенный недостаток – низкая эффективность данного способа из-за несоблюдения требований по подготовке системы циркуляционного водоснабжения к эксплуатации, а также некоторая степень несовершенства технологии системы шариковой очистки. Одним из условий эффективной работы системы шариковой очистки является определенная степень чистоты трубной системы конденсатора, которая характеризуется коэффициентом чистоты. Для определения эффективности системы шариковой очистки произведена серия опытов по запуску пористых резиновых шариков в трубную систему основных и встроенного пучков турбины Т-250/300-240 УТМЗ. Непосредственно перед опытами проводили гидравлическую очистку трубок конденсатора высоконапорной установкой. В процессе опытов вели учет количества загруженных и отловленных в загрузочной камере пористых резиновых шариков, а также оставшихся в калибровочном устройстве. В результате установлен большой процент невозврата этих шариков, причиной которого является наличие остатков карбонатных отложений, препятствующих движению пористых резиновых шариков в трубках конденсатора. Наличие карбонатных отложений в трубках конденсатора свидетельствует о недостаточной эффективности применяемой противонакипной обработки циркуляционной воды и гидравлического способа очистки трубок конденсатора.

**Ключевые слова:** конденсаторы паровых турбин, система шариковой очистки, эффективность

**Для цитирования:** Определение необходимых условий эффективной работы системы шариковой очистки трубок конденсаторов паровой турбины. Часть 1 / А. Г. Герасимова [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2017. Т. 60, № 2. С. 167–175. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-167-175

### Адрес для переписки

Герасимова Алина Георгиевна  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 65/2,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 293-91-45  
tes@bntu.by

### Address for correspondence

Gerasimova Alina G.  
Belarusian National Technical University  
65/2 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 293-91-45  
tes@bntu.by

## The Detection of the Necessary Conditions of Effective Functioning of the Ball Cleaning System of the Tubes of Steam Turbine Condensers

Part 1

A. G. Gerasimova<sup>1)</sup>, A. V. Malgin<sup>2)</sup>, Yu. N. Aleksandr<sup>3)</sup>, Ye. N. Kriksina<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

<sup>2)</sup>Minsk Thermal Power Plant-4 (Minsk, Republic of Belarus),

<sup>3)</sup>“ISTOK-Energo” Limited Liability Company (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** A problem of an increase of the power of turbine by improving heat transfer in condensers of steam turbines is considered in the article as a topical one. The analysis of contamination of the internal surfaces of cooling tubes and of the influence of pollution on the process of heat transfer in turbine condensers has been fulfilled. The existing method of cleaning of condenser tubes with the use of porous elastic balls of sponge rubber that is implemented on a number of large thermal power plants and state region power plants of the Republic of Belarus is examined. In the operation of the ball cleaning system a significant drawback has been revealed, viz. a low efficiency of this method due to the failure to comply with preparation the system of circulating water for operation. Also, a certain imperfection of ball cleaning system technology has been determined. One of the prerequisites for the effective functioning of the ball cleaning system is a certain degree of purity of the pipe system of the condenser, characterized by the coefficient of purity. To determine the effectiveness of ball cleaning system a series of experiments on the launching of porous rubber balls in the pipe system of the main and the embedded bunches of the T-250/300-240 UTMZ turbine has been produced. Immediately before the experiments hydraulic cleaning of the tubes of the condenser by a high-pressure installation were carried out. During the experiments, records of the number of downloaded porous rubber balls, of the number of rubber balls captured in a loading chamber, and of the number of rubber balls that remained in a calibration device were kept. A large proportion of default of the balls caused by the presence of residues of the carbonate sediments, that obstruct the movement of porous rubber balls in the tubes of the condenser, was determined. The presence of carbonate deposits in the tubes of the condenser indicates a lack of effectiveness of antiscaling treatment of circulating water and of hydraulic method of cleaning tubes of the condenser.

**Keywords:** condensers of steam turbines, system of ball cleaning, effectiveness

**For citation:** Gerasimova A. G., Malgin A. V., Aleksandr Yu. N., Kriksina Ye. N. (2017) The Detection of the Necessary Conditions of Effective Functioning of the Ball Cleaning System of the Tubes of Steam Turbine Condensers. Part 1. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (2), 167–175. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-167-175 (in Russian)

### Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется вопросам повышения эффективности выработки электроэнергии на ТЭС и АЭС. Одно из направлений повышения мощности турбоагрегатов – улучшение условий теплопередачи в конденсаторах турбин. Применяемые для охлаждения на электростанциях поверхностные воды содержат растворенные и нерастворенные вещества, которые в зависимости от региона сильно различаются по своему количеству и составу. Нежелательное выпадение этих веществ в виде отложений на внутренних поверхностях охлаждающих трубок называется микрозагрязнением. Выделяют несколько типов микрозагрязнений:

- выпадение частиц (седиментация), являющихся взвешенными веществами в охлаждающей воде и осаждающихся на внутренних поверхностях охлаждающих трубок теплообменника;

- кристаллизацию (выпадение осадка), происходящую в основном из-за наличия в охлаждающей воде нерастворимых неорганических солей, которые с увеличивающимися тепловыми нагрузками переходят границу растворимости и откладываются в качестве твердых отложений;

- коррозию, возникающую в результате реакции материала труб с охлаждающей водой;

- биологические отложения, являющиеся последствием колонизации трубок различными организмами и отложениями продуктов их обмена веществ.

Микрозагрязнения уменьшают теплопередачу в охлаждающих трубках, а следовательно, существенно снижают эффективность работы конденсатора. В качестве ориентировочных данных для оценки величины потерь на электростанциях по причине микрозагрязнений может служить следующая информация:

- микрозагрязнения повышают тепловой расход турбоустановки на 1–2 %;

- вызванный микрозагрязнениями рост давления в конденсаторе на 10 мбар ведет к потерям в электрической мощности от 0,7 до 1,8 %.

Проводимые ранее исследования трубных систем конденсаторов турбин показали, что наличие органических и шламовых отложений на внутренних поверхностях трубок приводит к питтинговой коррозии и увеличению термического сопротивления стенки трубки. В результате коррозии появляются течи воды в паровое пространство конденсаторов, что ведет к нарушению водно-химического режима основного конденсата и, как следствие, к повышенной нагрузке на ионообменные фильтры [1].

На отечественных ТЭС применяются различные способы периодической очистки внутренней поверхности теплообменных трубок конденсаторов: промывка высоконапорной струей, кислотная промывка, простреливание водовоздушным пистолетом, термическая и вакуумная сушка. Выбор способа очистки зависит от вида отложений и качества циркуляционной воды. Применение этих методов приводит к снижению мощности паровой турбины или даже ее останову, поскольку очистка трубок проводится при частичном или полном удалении воды из конденсатора [2–4].

Кроме того, в период между чистками образующиеся на охлаждаемых поверхностях отложения приводят к постепенному ухудшению вакуума в конденсаторе и пониженной экономичности работы оборудования. Следует отметить также, что периодические очистки трубок конденсаторов связаны с большими затратами средств и весьма трудоемки [3, 4].

### **Система шариковой очистки трубок конденсаторов**

В отличие от периодических методов шариковая очистка – это постоянная автоматизированная, экологически чистая профилактическая очистка, которая производится непосредственно во время работы конденсационной установки и позволяет поддерживать исходную чистоту внутренней поверхности теплообменных трубок [2]. Система шариковой очистки (СШО) нашла широкое применение на отечественных и зарубежных ТЭС. Для очистки трубок конденсаторов в СШО применяются пористые резиновые шарики диаметром, несколько большим внутреннего диаметра теплообменных трубок конденсатора, циркуляция которых позволяет удалять различного рода отложения с внутренней поверхности трубок (рис. 1) [3–7].

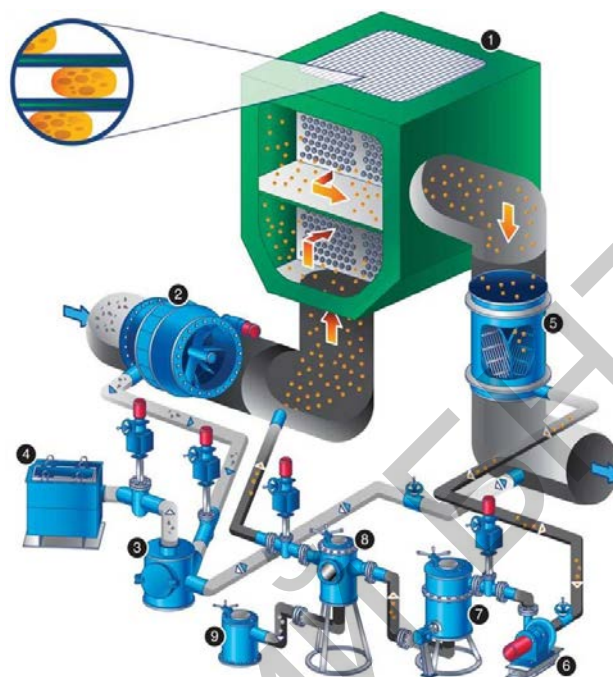


Рис. 1. Оборудование системы шариковой очистки: 1 – конденсатор паровой турбины; 2 – фильтр предварительной очистки; 3 – грязевой фильтр; 4 – бак сбора мусора; 5 – шарикоулавливающее устройство; 6 – насос подачи шариков; 7 – загрузочная камера; 8 – калибрующее устройство; 9 – бак отработавших шариков

Fig. 1. Ball cleaning system equipment: 1 – condenser of the steam turbine; 2 – pre-filter; 3 – mud filter; 4 – waste tank; 5 – ball catching device; 6 – pump for balls delivery; 7 – inlet chamber; 8 – calibration device; 9 – tank for spent balls

Установка очистки конденсаторов шариками из пористой резины, являясь профилактическим экологически чистым средством поддержания в чистоте охлаждающей поверхности трубных систем конденсатора, позволяет:

- снизить фактическое гидравлическое сопротивление системы циркуляционного водоснабжения за счет отсутствия загрязнения трубок и трубных досок конденсатора после установки фильтров предварительной очистки и работы очищающих шариков;
- уменьшить давление пара в конденсаторе турбины при поддержании шариковой очисткой в чистоте охлаждающей поверхности конденсатора;
- снизить ограничение максимальной электрической мощности турбоагрегата из-за ухудшения вакуума в конденсаторе;
- исключить внеплановые остановы блока для очистки охлаждающих трубок с помощью альтернативных периодических методов;
- повысить экологические показатели блока за счет уменьшения выбросов в атмосферу вследствие увеличения КПД блока и исключения неэкологических методов очистки трубок конденсатора;
- исключить питтинговую коррозию охлаждающих трубок под слоем отложений, а также их эрозию из-за попадания крупных загрязнений;
- сократить затраты на ремонт конденсаторов в период плановых остановов;

- повысить надежность блока;
- улучшить качество основного конденсата из-за уменьшения присосов охлаждающей воды и тем самым улучшить водно-химический режим работы блока [6].

Одним из условий эффективной работы системы шариковой очистки является определенная степень чистоты трубной системы конденсатора, которая характеризуется коэффициентом чистоты  $\alpha$ . При наличии большого количества отложений на внутренних поверхностях трубок нарушается циркуляция пористых резиновых шариков (ПРШ) в трубках конденсатора. Как правило, для этих целей применяется гидравлическая очистка трубок конденсатора турбины высоконапорной установкой.

Система шариковой очистки применяется на ряде крупных ТЭЦ и ГРЭС Республики Беларусь. Однако в процессе ее эксплуатации, в частности на Минской ТЭЦ-4, был выявлен существенный недостаток – низкая эффективность работы СШО, связанная с нарушением циркуляции ПРШ.

### **Оценка эффективности работы системы шариковой очистки**

Цель выполненной работы – выявление причин, которые приводят к снижению эффективности работы СШО. Исследования проводились в соответствии с методическими указаниями по наладке и эксплуатации СШО конденсаторов паровых турбин [8]. В качестве объекта исследования брали типовую турбину Т-250/300-240 УТМЗ, на которой была установлена рассматриваемая установка. Непосредственно перед опытами закончили гидравлическую очистку трубок конденсатора турбины высоконапорной установкой. Высоконапорный гидравлический способ используется в основном для очистки латунных сетевых подогревателей диаметрами от 16 до 25 мм с отложениями толщиной до 3 мм.

В основу способа положен принцип превращения энергии высокого давления воды, подаваемой в трубку через специальное сопло, в кинетическую энергию потока двигающейся с высокой скоростью на выходе из сопла жидкости. В процессе очистки сопло передвигается в очищаемой трубке. В результате поток отрывает отложения от внутренней поверхности трубки. Основные производители высоконапорных машин – европейские и американские фирмы, например Gardner Denver и General pipe Cleaners (США), Hammelman и Woma (Германия), VHT (Бельгия), Dynajet (Германия).

Для определения эффективности очистки трубок конденсатора произвели серию опытов по запуску ПРШ в трубную систему основных и встроенного пучков турбины Т-250/300-240 УТМЗ. Применяли в основном ПРШ типа СМ (сверхмягкие) и частично типа Н (нормальной твердости). При проведении опытов вели учет количества загруженных и отловленных в загрузочной камере ПРШ, а также оставшихся в калибровочном устройстве.

В ходе первого опыта на передней половине конденсатора из 250 запущенных ПРШ было выловлено 99, схожие результаты получили и на остальных трубных системах пучков. Поэтому вскрыли конденсатор и при помощи продувки трубок сжатым воздухом определили количество застрявших в трубной системе ПРШ. Результаты первого опыта приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний системы шариковой очистки. Опыт 1**  
**The test results of ball cleaning system. Experiment 1**

Элемент конденсатора	Тип ПРШ	Перепад давления на конденсаторе, кПа	Количество ПРШ, шт.				Невозврат, %
			загруженных	возвратившихся	отработавших	невозвратившихся	
Передняя половина (основной пучок)	Ш90-24СМ	43	250	99	0	151	60,1

При вскрытии передней половины конденсатора выявлено: в первом ходу – три застрявших ПРШ, во втором ходу – 133. С учетом застрявших ПРШ в трубках передней половины конденсатора невозврат ПРШ составил  $250 - 99 - 3 - 133 = 15$  шт.

Потеря ПРШ в СШО с учетом отловленных и застрявших шариков составила 6 %, что меньше нормативной потери, равной 10 %. Результаты последующих опытов сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты испытаний системы шариковой очистки. опыты 2-5**  
**The test results of ball cleaning system. Experiments 2-5**

Элемент конденсатора	Тип ПРШ	Перепад давления на конденсаторе, кПа	Количество ПРШ, шт.				Невозврат, %
			загруженных	возвратившихся	отработавших	невозвратившихся	
Опыт 2							
Передняя половина (основной пучок)	Ш90-24СМ	69	300	50	2	248	
	Ш90-24СМ	67	100	167	0	-67	
<b>Итого</b>			<b>400</b>	<b>217</b>	<b>2</b>	<b>181</b>	<b>45,5</b>
Опыт 3							
Задняя половина (основной пучок)	Ш90-24СМ	63	250	165	0	85	34
Опыт 4							
Встроенный пучок	Ш90-24СМ	42	190	145	4	41	21,6
Опыт 5							
Встроенный пучок	Ш90-24СМ	47	150	116	3	31	20,7
	Ш90-24Н		150	14	0	136	90,7
<b>Итого</b>			<b>300</b>	<b>130</b>	<b>3</b>	<b>167</b>	<b>55,7</b>

В результате проведенных работ определено, что в среднем процент невозврата ПРШ для передней половины конденсатора составлял при-

мерно 45 %, задней половины ~34 % и встроенного пучка – около 21 %. При подаче во встроенный пучок конденсатора ПРШ нормальной твердости невозврат значительно вырос и составил 91 %. Согласно инструкции по эксплуатации СШО и РД невозврат ПРШ должен составлять до 10 %.

Основной причиной невозврата ПРШ является наличие остатков карбонатных отложений, которые препятствуют движению ПРШ в трубках конденсатора. Это подтверждается тем, что процент невозврата сверхмягких ПРШ во встроенном пучке в опыте 5 составляет примерно ту же величину, что и в опыте 4 (21,6 %), а более плотные ПРШ нормальной твердости практически все задержались в трубках конденсатора.

Также было извлечено по одной трубке из первого и второго ходов передней половины основного пучка конденсатора. По результатам исследования извлеченных трубок выявлено, что трубка первого хода полностью очищена от отложений до металла за исключением входных и выходных участков длиной примерно по 3–5 см. Среднее остаточное количество отложений составляло 5 г/м<sup>2</sup>. Трубка второго хода конденсатора очищена полностью только на расстоянии 328 см от входа воды (за исключением непосредственно самого входного участка длиной 3 см), и остаточное количество отложений на этом участке составляло 4 г/м<sup>2</sup>. Далее по длине трубки, на расстоянии 1,7 м, она была очищена частично: остаточное количество отложений 455 г/м<sup>2</sup>. На следующем участке трубки длиной 3,62 м присутствовал налет отложений по всей внутренней поверхности трубки (толщиной от 1,0 мм и более): остаточное количество отложений на этом участке 1350 г/м<sup>2</sup>. Среднее остаточное количество отложений внутри трубки второго хода составляло 792 г/м<sup>2</sup>, что значительно превышало остаточную загрязненность для условно чистой поверхности теплообменников, которая согласно СТП 09110.37.409–09 [9] должна быть не более 100 г/м<sup>2</sup>.

Плотно прилегающие отложения накипи к трубкам конденсатора трудно поддаются гидравлической очистке с помощью высоконапорной установки. Более интенсивная очистка таких участков данным методом может привести к повреждению и преждевременному износу трубок конденсатора [10]. Наличие твердых отложений накипи в трубках конденсатора и периодические очистки этих трубок от накипи (примерно один раз в год) свидетельствуют о недостаточной эффективности применяемой противонакипной обработки циркуляционной воды [11].

## ВЫВОДЫ

1. Система шариковой очистки не предназначена для очистки загрязненных трубок конденсатора, а является лишь превентивным методом против отложений.

2. Для обеспечения необходимой циркуляции пористых резиновых шариков в системе шариковой очистки необходимо, чтобы внутренняя поверхность трубок была чистой и гладкой по всей длине, включая участки на входе и выходе воды, а также отсутствовали отдельные очаги отложений на ней. Поэтому при несоблюдении требований по противонакипной обработке циркуляционной воды (что нередко происходит на отечественных станциях) следует выполнить высококачественную очистку основного и встроенного пучков конденсатора.

3. Традиционно используемый механический вид очистки карбонатных отложений не позволяет достичь необходимой чистоты трубок без их повреждения, поэтому наиболее эффективным мероприятием перед вводом в эксплуатацию системы шариковой очистки являются химическая очистка трубок конденсатора (обязательное применение химвеществ с минимальной коррозионной агрессивностью) и последующая доочистка внутренних поверхностей от твердых отложений накипи высоконапорной гидравлической установкой.

4. Для защиты поверхностей водоводов, входных камер, трубных досок конденсатора от коррозии, снижения износа шариков и улучшения их входа в трубки целесообразно использовать антикоррозионное полимерное покрытие [12–14].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы очистки от накипи [Электронный ресурс] // ЗевсТрубопровод. Режим доступа: <http://www.zevs-irp.ru/methods>. Дата доступа: 04.05.2015.
2. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Автоматизированная система шариковой очистки конденсатора турбины Т-180/210-130 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. Н. Унукович // Энергоэффективность. 2004. № 8. С. 5–7.
3. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Создание и эффективность автоматической системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ. Ч. 1 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, А. Ю. Наумов, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 3. С. 76–84.
4. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Опыт и результаты работы демонстрационной зоны высокой энергетической эффективности филиала «Гомельская ТЭЦ-2» РУП «Гомельэнерго» / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский // Энергоэффективность. 2006. № 8. С. 6–7.
5. Техническое описание системы шариковой очистки и фильтра предварительной очистки (Ленинградская АЭС): инв. № 2ТО-241, 2006 г.
6. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Создание и эффективность автоматической системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ. Ч. 2 / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, А. Ю. Наумов, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 4. С. 74–85.
7. Субботин, В. Г. Паровые турбины для ОАО «Турбоатом» для тепловых электростанций / В. Г. Субботин, Е. В. Левченко, В. Л. Швецов // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. 2009. № 3. С. 6–17.
8. Методические указания по наладке и эксплуатации систем шариковой очистки конденсаторов паровых турбин: РД 34.30.403–93. М.: Служба передового опыта ОРГЭС, 1994. 46 с.
9. Проведение механических и химических очисток теплообменников: СТП 09110.37.409–09. Режим доступа: [http://energodoc.by/data/pdf/3222\\_3e63.pdf](http://energodoc.by/data/pdf/3222_3e63.pdf). Дата доступа: 07.05.2015.
10. Балтаханов, А. М. Электрогидроимпульсная технология очистки труб от накипи и отложений / А. М. Балтаханов, Е. Н. Иванов, В. К. Касаткин. М.: Научтехлитиздат, 2013. 120 с.
11. Тумановский, А. Г. Эффективность использования системы шариковой очистки конденсаторов паровой турбины / А. Г. Тумановский, Ю. Г. Иванов, Н. В. Болдырев // Новости теплоснабжения. 2011. № 7 (131). С. 29–32.
12. Методические указания по прогнозированию химического состава и накипеобразующих свойств охлаждающей воды электростанций: РД 34.37.307–87. М.: Союзтехэнерго, 1989. 40 с.
13. Оригинальные системы защитного и ремонтного покрытия Plastocor® от эрозии и коррозии на конденсаторах, теплообменниках и всей системе водяного охлаждения. Режим доступа: <http://www.plastocor-international.com/ru>. Дата доступа: 25.05.2015.
14. Антикоррозионные покрытия. Покрытия Scotchkote®. Режим доступа: [http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru\\_RU/Corrosion\\_Protection/Coatings/](http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru_RU/Corrosion_Protection/Coatings/). Дата доступа: 25.05.2015.

Поступила 17.05.2016 Подписана в печать 21.07.2016 Опубликовано онлайн 07.03.2017



REFERENCES

1. Methods of Descaling. *Zeus Pipeline* [ZevsTruboprovod]. Available at: <http://www.zevs-irp.ru/methods>. (Accessed 4 May 2015) (in Russian).
2. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Unukovich Yu. N. (2004) Automated System of Ball Cleaning of Turbine T-180/210-130 Condenser. *Energoeffektivnost* [Energy Efficiency], (8), 5–7 (in Russian).
3. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Naumov A. Yu., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A. Yu. (2015) Designing and Efficiency Effect of Automatic Ball-Cleaning System for Condenser 180-KTsS-1 of Turbine T-180/210-130-1 LMZ. Part 1. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], (3), 76–84 (in Russian).
4. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A. (2006) The Experience and Results of Work of the Demonstration Zone of High Energy Efficiency Branch “Gomel CHP-2” of the “Gomelenergo” Republican Unitary Enterprise. *Energoeffektivnost* [Energy Efficiency], (8), 6–7 (in Russian).
5. Technical Details of Ball Cleaning System and Pre-Filter (Leningrad NPP): inv. No 2TO-241, 2006 (in Russian, unpublished).
6. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu. A., Naumov A. Yu., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A. Yu. (2015) Designing and Efficiency Effect of Automatic Ball-Cleaning System for Condenser 180-KTsS-1 of Turbine T-180/210-130-1 LMZ. Part 2. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], (4), 74–85 (in Russian).
7. Subbotin V. G., Levchenko Ye. V., Shvetsov V. L. (2009) Steam Turbines for OJSC “Turboatom” for Thermal Power Plants. *Energeticheskiye i Teplotekhnicheskiye Protssesy i Oborudovaniye* [Energy and Thermal Engineering Processes and Equipment], (3), 6–17 (in Russian).
8. Guidance Document 34.30.403–93. Guidelines for the Commissioning and Operation of the Ball Cleaning System of Steam Turbine Condensers. Moscow, ORGRES Service of Excellence. 46 (in Russian).
9. Enterprise Standard 09110.37.409–09. The Mechanical and Chemical Cleaning of Heat Exchangers. Available at: [http://energodoc.by/data/pdf/3222\\_3e63.pdf](http://energodoc.by/data/pdf/3222_3e63.pdf). (Accessed 7 May 2015) (in Russian).
10. Baltakhanov A. M., Ivanov Ye. N., Kasatkin V. K. (2013) *Electrohydropulse Technology of Cleaning of Pipes from Scale and Deposits*. Moscow, Nauchtekhlitizdat Publ. 120 (in Russian).
11. Tumanovsky A. G., Ivanov Yu. G., Boldyrev N. V. (2011) The Effectiveness of the Use of the Ball Cleaning System of Steam Turbine Condensers. *Novosti Teplosnabzheniya* [News of Heat Supply], 131 (7), 29–32 (in Russian).
12. Guidance Document 34.37.307–87. Methodological Guidelines for Forecasting the Chemical Composition and Scale-Forming Properties of the Cooling Water of Power Stations. Moscow, Soiuztekhnenergo, 1989. 40 (in Russian).
13. The Original System of Protective (from Erosion and Corrosion in Condensers, Heat Exchangers and the Entire Cooling System) as well as Repair Coatings of Plastocor®. *Plastocor International*. Available at: <http://www.plastocor-international.com/ru>. (Accessed 25 May 2015) (in Russian).
14. Anti-Corrosion Coatings. *Coatings of Scotchkote®*. Available at: [http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru\\_RU/Corrosion\\_Protection/Coatigs/](http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru_RU/Corrosion_Protection/Coatigs/). (Accessed 25 May 2015) (in Russian).