

СОЗДАНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРА 180-КЦС-1 ТУРБИНЫ Т-180/210-130-1 ЛМЗ

Часть 1

**ЗЕНОВИЧ-ЛЕШКЕВИЧ-ОЛЬПИНСКИЙ Ю. А.¹⁾, НАУМОВ А. Ю.¹⁾,
студ. ЗЕНОВИЧ-ЛЕШКЕВИЧ-ОЛЬПИНСКАЯ А. Ю.²⁾**

¹⁾*Филиал «Гомельская ТЭЦ-2» РУП «Гомельэнерго»,*

²⁾*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: zenovich@tut.by

Для снижения потерь в холодном источнике (конденсаторе) и повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов представлена современная автоматическая система шариковой очистки трубок конденсатора 180-КЦС-1 турбоагрегата Т-180/210-130-1 ЛМЗ Гомельской ТЭЦ-2. Рассмотрены проблемы эксплуатации конденсаторов паровых турбин и методы их очистки от отложений. В зависимости от характера и состава отложений, качества охлаждающей воды на электростанциях применяются различные способы очистки конденсаторных трубок: термическая и вакуумная сушки, кислотные промывки, простреливание трубок из водяных и водовоздушных пистолетов, промывка высоконапорной струей воды и др. Все используемые методы очистки являются периодическими средствами борьбы с отложениями и требуют остановки или разгрузки турбины, обуславливают работу оборудования с постоянно загрязняемой между чистками поверхностью охлаждения конденсаторов, т. е. с пониженной экономичностью работы оборудования.

Установка системы шариковой очистки практически исключает недостатки химических и механических методов очистки, что приводит к увеличению срока службы конденсаторных трубок, а также улучшению качества основного конденсата и повышению надежности и экономичности работы оборудования паровых турбин. Разработаны алгоритмы обработки информации и управления системой шариковой очистки конденсатора, что позволило реализовать ее работу в автоматическом режиме.

Ключевые слова: система технического водоснабжения, конденсатор паровой турбины, способы очистки конденсаторных трубок, система шариковой очистки, автоматическая система управления.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

DESIGNING AND EFFICIENCY EFFECT OF AUTOMATIC BALL-CLEANING SYSTEM FOR CONDENSER 180-KTsS-1 OF TURBINE T-180/210-130-1 LMZ

Part 1

**ZENOVICH-LESHKEVICH-OL'PINSKIY Yu. A.¹⁾, NAUMOV A. Yu.¹⁾,
ZENOVICH-LESHKEVICH-OL'PINSKAYA A. Yu.²⁾**

¹⁾*Affiliated Branch "Gomel CHP-2" of RUP "Gomel'energo",*

²⁾*Belorussian National Technical University*

In order to reduce losses in the cooling source (condenser) and to increase effectiveness of fuel-and-power resources utilization, the authors present a modern automatic ball-cleaning system for the pipes of condenser 180-KTsS-1 of turbine unit T-180/210-130-1 LMZ of Gomel CHP-2. The article examines exploitation challenges of the steam turbine condensers and methods of clearing them from sedimentations. Depending on the sedimentation character and composition, and the quality of cooling water at the power plant, they apply various methods of the condenser tubes clearing: heat drying, vacuum dehydration, acid-washing, pipes-shooting with water and water-air pistols, ablution with high-pressure water jet etc. All the applied cleaning methods are the periodical means to fight the sedimentations and

require the turbine halting or unloading, predetermine the equipment operating between clearings with constantly smearing cooling surfaces of the condensers, i.e. with reduced efficiency of equipment operation.

The installation of the ball-cleaning system practically excludes defects of the chemical and mechanical cleaning methods, which leads to the condenser pipes life-in-service increase, the full-flow condensate quality improvement, reliability and efficient performance enhancement of the steam turbines equipment. The authors consider developed algorithms of data processing and designed system control of the condenser cleaning that allowed realizing its operation in automatic mode.

Keywords: service water system, steam turbine condenser, condenser tubes cleaning methods, ball-cleaning system, automatic-control system.

Fig. 4. Ref.: 10 titles.

Введение. Основная причина ухудшения вакуума в конденсаторах паровых турбин по сравнению с нормативными значениями – загрязнение трубок с водяной стороны. Отложения, образующиеся в конденсаторных трубках, ухудшают теплопередачу и являются одной из причин их коррозионного разрушения. В зависимости от характера и состава отложений, качества охлаждающей воды на электростанциях применяются различные способы очистки конденсаторных трубок: термическая и вакуумная сушки, кислотные промывки, простреливание трубок из водяных и водовоздушных пистолетов, промывка высоконапорной струей воды и др. Все используемые методы очистки являются периодическими средствами борьбы с отложениями и требуют остановки или разгрузки турбины, обуславливают работу оборудования с постоянно загрязняемой между чистками поверхностью охлаждения конденсаторов, т. е. с пониженной экономичностью работы оборудования.

В период между двумя чистками турбоагрегаты эксплуатируются с постепенно ухудшающимся вакуумом в конденсаторах. Ухудшение вакуума между чистками достигает 1–4 %. Кроме того, периодическая очистка конденсаторных трубок трудоемка и связана обычно с большими затратами средств. Разработанный способ очистки конденсаторных трубок с помощью эластичных шариков из губчатой резины (рис. 1, 2) нашел широкое применение в мировой энергетике. Использование мягкого шарика, диаметр которого на 1–2 мм больше внутреннего диаметра трубки, позволяет удалять с ее поверхности все виды вновь образующихся и недостаточно закрепленных отложений и поддерживать исходную чистоту трубки [1–10].

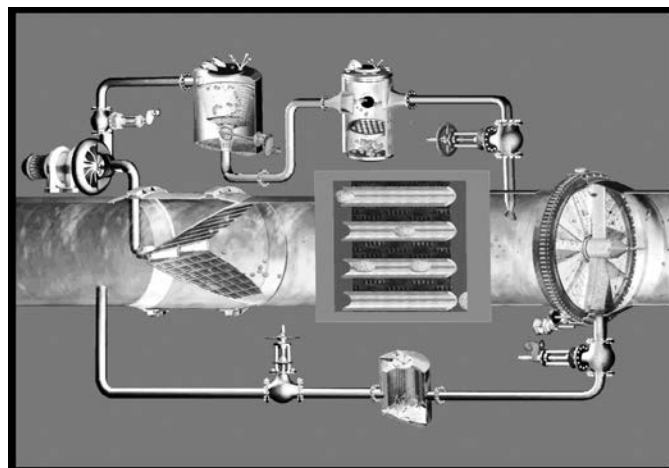


Рис. 1. Общий вид системы шариковой очистки конденсатора

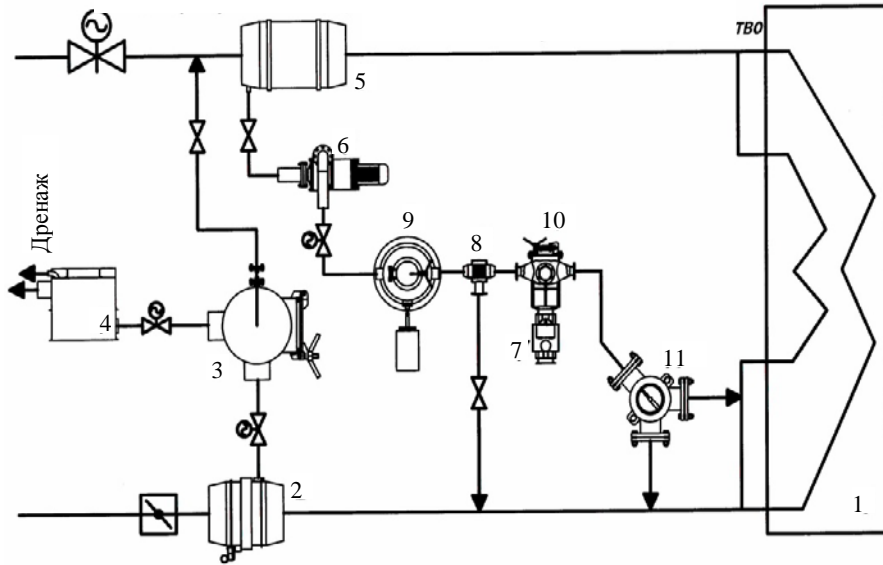


Рис. 2. Принципиальная схема системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбоагрегата Т-180/210-130-1 ЛМЗ: 1 – конденсатор; 2 – фильтр предварительной очистки; 3 – грязевой фильтр; 4 – грязевой бак; 5 – шарикоулавливающее устройство; 6 – насос шариковой очистки; 7 – бак отработавших шариков; 8 – разгрузочное устройство; 9 – загрузочная камера; 10 – калибрующее устройство; 11 – распределительное устройство

Постановка задачи. Цель исследований авторов – обоснование экономической целесообразности и анализ результатов внедрения системы шариковой очистки (СШО) конденсатора турбоустановки Т-180/210-130-1 ЛМЗ для повышения эффективности системы технического водоснабжения электростанции. Схема технического водоснабжения блоков Гомельской ТЭЦ-2 (рис. 3) обратная. Охлаждающая вода поступает по двум бетонным каналам в аванкамеру объединенной насосной станции и затем из аванкамеры по пяти стальным трубопроводам к каждому циркуляционному насосу.

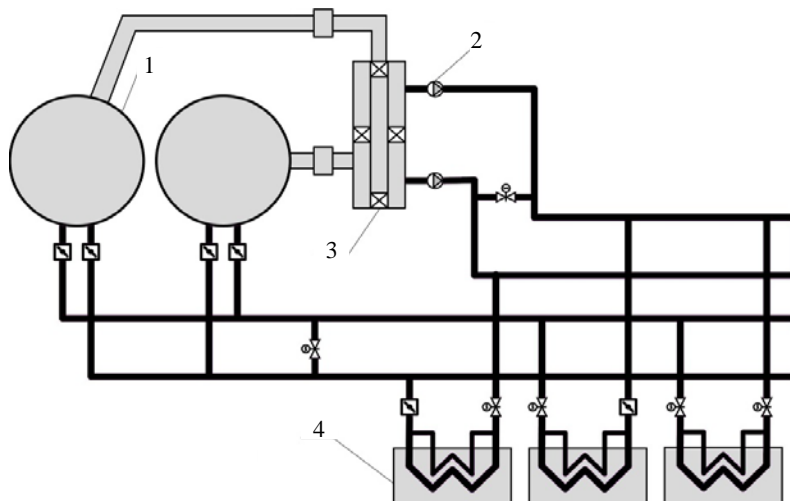


Рис. 3. Принципиальная схема технического водоснабжения: 1 – градирня; 2 – циркуляционный насос; 3 – аванкамера; 4 – конденсатор

Насосы подают воду на магистральные водоводы, от которых вода по напорным трубопроводам поступает на основной и встроенный пучки конденсаторов. После конденсаторов по сливным магистральным трубопроводам вода направляется в градирни. Охлаждение циркуляционной воды происходит в градирнях.

Восполнение потерь воды в системе технического водоснабжения производится из трубопровода, подающего ее на Гомельский химзавод, насосами станции II подъема РУП «Водоканал» из реки Сож. Изменение подачи насосов осуществляется варьированием количества одновременно включенных циркуляционных насосов. На всасе циркуляционных насосов установлены сороудерживающие сетки.

Проблемы эксплуатации конденсаторов турбин. Основной особенностью внешней среды, с которой соприкасается внутренняя поверхность металла конденсаторных трубок, является насыщение и даже перенасыщение ее воздухом, полное удаление которого из циркуляционной системы невозможно. Касаясь способа охлаждения конденсатора, следует заметить, что обратная система охлаждения более опасна в отношении коррозии металла конденсаторных трубок, чем прямоточная, вследствие повышения уровня температуры охлаждающей воды, а главное в отношении накипи и шламообразования, способствующего протеканию так называемой подшламовой коррозии.

При различных характерных коррозионных процессах, повреждающих конденсаторные трубки, они могут различаться большей или меньшей степенью локализации процесса на поверхности металла и по длине трубки. Практически наибольшая опасность для эксплуатации конденсаторов возникает при локализации коррозии, вследствие чего наиболее вредными являются те факторы, которые способствуют нарушению равномерного разъедания поверхности трубки, так как обычно в этих отдельных точках интенсивность коррозии резко возрастает. Особый вид разрушения конденсаторных трубок – «ударная коррозия» – образование язвин на входных концах трубок под действием потока воды, содержащего пузырьки воздуха и движущегося с большой скоростью.

Многолетний опыт эксплуатации конденсаторов и исследований коррозионных явлений внутренней поверхности трубок показал, что устойчивость металла определяется, главным образом, защитными свойствами образующейся на внутренней поверхности оксидной пленки. Эта пленка состоит из оксидных соединений меди и цинка: хлоридов, карбонатов, гидроокисей и окислов этих металлов, а также основных солей. Кроме того, слой продуктов коррозии латуни часто включает в себя также посторонние вещества – окислы железа, являющиеся продуктом ржавления водяных камер и трубопроводов, карбонат кальция, гидроокись и основной карбонат магния и т. д. При высоких защитных свойствах пленки разрушение металла конденсаторной трубки может быть практически прекращено, если пленка не имеет повреждений по всей длине трубки.

Охлаждающая вода, используемая на Гомельской ТЭЦ-2, по общему солесодержанию относится к среднеминерализованным водам (сухой остаток – 414 мг/кг). Общая жесткость, обусловленная наличием ионов кальция и магния, составляет 5,45 мг-экв/кг, а щелочность воды, определяемая присутствием бикарбонатных ионов кальция и магния (3,80 мг-экв/кг), представлена карбонатной жесткостью. Отложения, находящиеся в коррозионной язве, также в основном состоят из окиси меди и имеют повышенные

потери при прокаливании по сравнению с общими отложениями, которые обусловлены наличием органических веществ.

Решение задачи. Основным фактором борьбы с коррозией конденсаторных трубок можно считать обеспечение чистоты поверхности охлаждения, т. е. предотвращение «осадочной» коррозии, связанной с наличием рыхлых отложений или отдельных твердых инородных частиц. Организованный контур циркуляции шариков через трубки конденсатора в системе шариковой очистки как раз и оказывает благотворное влияние на коррозионную стойкость конденсаторных трубок.

Как отмечалось выше, наибольшую опасность представляют собой локальные коррозионные процессы. Но любому локальному процессу предшествует образование центра концентрации коррозии, как правило, под слоем шлама, накипи или других загрязнений. Резиновый шарик диаметром больше внутреннего диаметра трубки, регулярно проходя внутри трубки, предотвращает образование очага концентрации, удаляя шлам, слизь, не позволяя карбонату кальция выпадать в осадок, не повреждая оксидный слой. На пленке, покрывающей поверхность трубки, оседают твердые нерастворимые в воде частички (осадок карбоната кальция или механические примеси – песок, уголь и т. д.). Они препятствуют свободному доступу кислорода к поверхности металла, вследствие чего образование вторичных нерастворимых продуктов коррозии происходит вне физического контакта с поверхностью металла. Шарик не дает осесть на оксидной пленке твердым нерастворимым в воде частичкам.

Прилипшие к поверхности трубки пузырьки воздуха, подобно осадкам (загрязнениям), могут вызывать эффект, аналогичный неравномерной аэрации. Разъедаться металл будет вокруг прилипшего пузырька воздуха, кроме того, интенсификация коррозии будет наблюдаться вследствие местного повышения температуры металла – «эффект горячей стенки». Циркуляция шариков также предотвращает залипание пузырьков воздуха на поверхности трубок.

Большая номенклатура шариков по твердости и другим свойствам позволяет подобрать для конкретного конденсатора, охлаждающей воды и ожидаемых отложений индивидуальные типоразмеры чистящих шариков. Так, большие перспективы и положительный опыт использования на ряде электростанций с точки зрения коррозионной защиты представляет применение полирующих шариков, которые наряду с традиционными функциями предотвращения загрязнений трубок конденсатора обладают свойством улучшения оксидной пленки по всей длине трубки, «укатывая и полируя» последнюю.

Наличие в СШО фильтра предварительной очистки предотвращает попадание крупнодисперсного мусора в конденсатор (ракушек, камней и т. д.), что приводит к снижению абразивного износа оксидной пленки трубок конденсатора и предотвращает процессы коррозии. Разделка концов трубок в трубных досках под «колокольчик» для организации циркуляции шариков и уменьшения их износа на ряде станций привела к снижению ударной коррозии входных частей трубок конденсатора, видимо, из-за уменьшения турбулентности потока воды и ее скорости на входе в трубку.

Следует отметить, что при отсутствии СШО на оборудовании применяется традиционный – химический – метод очистки трубок конденсатора с использованием ингибированной соляной кислоты и других реагентов.

Как показал опыт, данный способ очистки не дает полного растворения накипи, так как образующаяся при реакции карбоната кальция с соляной кислотой обильная пена препятствует равномерному контакту кислоты с накипью в верхних образующих трубок. Отложения, находящиеся на нижних образующих, растворяются интенсивно до тех пор, пока они остаются прикрепленными к поверхности металла. При попадании кислоты под слой отложений на отдельных участках трубок происходит отделение накипи от поверхности металла. Эти нерастворившиеся остатки, попадая в зону пены, не только прекращают дальнейшее растворение, но и зачастую, скапливаясь в трубке, закупоривают ее живое сечение. Оголенные же участки трубок, продолжая омываться кислотой, подвергаются интенсивной коррозии. После такой кислотной промывки требуется обязательная механическая доочистка трубок от нерастворившейся накипи, что является очень трудоемкой операцией, требующей длительного останова турбоагрегата. Кроме того, кислотные промывки относятся к периодическим мерам очистки, после которых происходят новые накипеобразование и загрязнение, что в условиях разрушения оксидного слоя кислотой приводит к еще более интенсивной коррозии металла трубок.

Установка СШО позволит практически исключить недостатки химических и механических методов очистки, что увеличит срок службы конденсаторных трубок, а также улучшит качество основного конденсата турбины и повысит надежность работы турбинного оборудования.

Описание системы шариковой очистки. СШО конденсатора состоит из двух автономных технологических схем – предварительной очистки охлаждающей воды и циркуляции шариков [1].

Принципиальная схема СШО конденсатора 180-КЦС-1 турбоагрегата Т-180/210-130-1 ЛМЗ Гомельской ТЭЦ-2 представлена на рис. 2.

Схема предочистки состоит из следующего оборудования:

- фильтра предварительной очистки (ФП);
- грязевого фильтра (ГФ);
- грязевого бака (ГБ);
- трубопровода сброса очищенной от загрязнений в ГФ охлаждающей воды в сливной циркуляционный водовод;
- трубопровода сброса загрязнений из ГФ в ГБ;
- технологической арматуры.

Схема циркуляции шариков соответственно состоит из:

- шарикоулавливающего устройства (ШУУ);
- насоса шариковой очистки (НШО);
- загрузочной камеры (ЗК);
- калибрующего устройства (КУ);
- бака для отработавших шариков (БОШ);
- разгрузочного устройства (РУ);
- узла распределения (УР) шариков по основному и встроенному пучкам конденсатора;
- узлов ввода шариков в напорные трубопроводы основного и встроенного пучков перед конденсатором;
- трубопроводов транспортировки шариков из сливного циркуляционного водовода в напорные;
- технологической арматуры.

Сорудерживающие сетки на всасе насосов в силу своих конструктивных недостатков не могут полностью предотвращать попадание различно-

го мусора в систему циркуляционного водоснабжения. Для предотвращения задержки (залипания) шариков на трубных досках или в конденсаторных трубках из-за различного рода мусора, приносимого охлаждающей водой, циркуляционная вода предварительно подвергается механической очистке в фильтре предочистки. Этот фильтр предназначен для очистки охлаждающей воды от крупнодисперсного мусора (щепы, гравий, органика и пр.), который, засоряя трубные доски, препятствует прохождению шариков через конденсаторные трубки. Затем вода с мусором направляется в грязевой фильтр, предназначенный для очистки загрязненной воды, поступающей из ФП во время его отмывки. Отфильтрованная (чистая) вода направляется в сливной циркуляционный водовод, а вода с мусором в ГБ, который собирает мусор, с целью его последующего вывоза и утилизации.

Как известно, принцип работы СШО основан на циркуляции пористых резиновых шариков (ПРШ) через внутренние поверхности конденсаторных трубок. Шарик загружается в ЗК, предназначенную для загрузки и ввода шариков в контур циркуляции. После включения НШО, который транспортирует ПРШ по контуру циркуляции, шарик по трубопроводам транспортировки через РУ (позволяет регулировать расход воды через КУ) направляется в КУ. В КУ происходят калибровка и своевременный вывод изношенных шариков из контура циркуляции, которые направляются в БОШ. Через распределитель шариков и далее через узлы ввода шарик попадает в напорные циркуляционные водоводы основного и встроенного пучков конденсатора. Вместе с охлаждающей водой шарик проходит через трубки конденсатора (под действием разности давлений на входе и выходе), при этом шарик, плотно прилегая к стенкам трубок, предотвращает органические отложения и очаги зарождения минеральных отложений на их внутренней поверхности. Прошедшие через конденсатор ПРШ попадают в сливной циркуляционный водовод, где задерживаются установленным ШУУ. Затем НШО отсасываются из устья ШУУ и направляются обратно в контур циркуляции. Кроме этого, обязательно устанавливается автоматика управления работой СШО (обеих технологических схем), которая позволяет реализовать работу системы в автоматическом режиме.

Управление СШО конденсатора полностью автоматизировано и выведено на ПЭВМ, находящуюся на блочном щите управления (рис. 4).

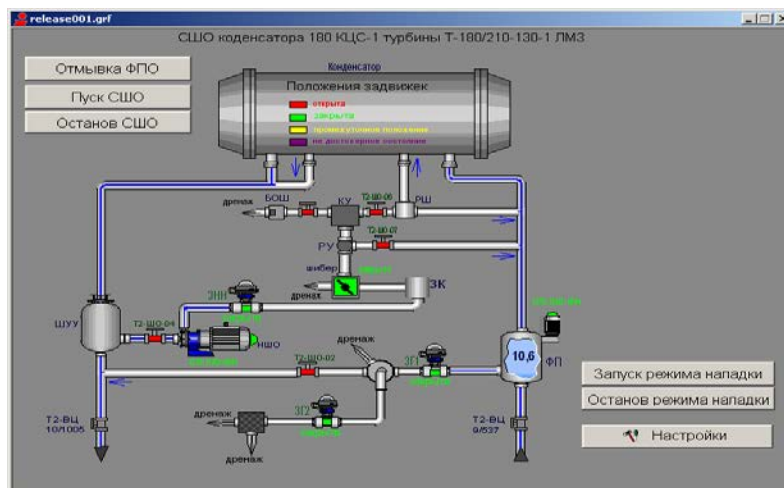


Рис. 4. Мнемосхема автоматизации управления системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбоагрегата Т-180/210-130-1 ЛМЗ

Автоматическая система управления шариковой очисткой (АСУШО) предназначена для автоматического и ручного управления СШО и отдельных ее элементов, а также для контроля за оборудованием СШО. Создана многоуровневая иерархическая система, где:

- на нижнем уровне находятся датчики и исполнительные механизмы;
- на среднем уровне применен проектно-компонентный контроллер ПИКОН-2, в задачи которого входят сбор и предварительная обработка информации, выработка управляющих воздействий, обмен информацией с верхним уровнем;
- верхним уровнем управления является операторская станция на базе персонального компьютера.

АСУШО – открытая система, допускающая наращивание задач. Программное обеспечение реализовано на базе SCADA-системы iFix. Разработаны алгоритмы обработки информации и управления системы шариковой очистки конденсатора. Программные средства являются открытыми для пользователя и имеют возможность самостоятельной работы системы и настройки компонентов без участия профессиональных программистов.

ВЫВОДЫ

1. На сегодняшний день система шариковой очистки – самый эффективный способ борьбы с отложениями в трубках конденсатора паровых турбин. Установка очистки конденсаторов шариками из пористой резины, являясь профилактическим экологически чистым средством поддержания в чистоте охлаждающей поверхности трубных систем конденсатора, позволит 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;
- давление пара в конденсаторе турбины при поддержании шариковой очистки в чистоте охлаждающей поверхности конденсатора, что приведет к экономии топлива;
- ограничение максимальной электрической мощности турбоагрегата из-за ухудшения вакуума в конденсаторе;
- затраты на ремонт конденсаторов в период плановых остановов.

2. Использование системы шариковой очистки практически исключает недостатки химических и механических методов очистки, что приведет к увеличению срока службы конденсаторных трубок, а также улучшению качества основного конденсата и повышению надежности работы оборудования паровых турбин.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. На л а д к а системы шариковой очистки конденсатора турбины К-300-240 ЛМЗ блока № 1 Лукомльской ГРЭС. Технический отчет. – М.: Союзтехэнерго, 1988. – 55 с.
3. Р а з р а б о т к а и внедрение новых конструкций аппаратов и технологических схем СШО конденсаторов турбин блоков Лукомльской ГРЭС. Технический отчет. – М.: Союзтехэнерго, 1990. – 68 с.

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. Энергетические характеристики оборудования Гомельской ТЭЦ-2 и алгоритм определения нормативного удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергии. Т. 2. – Гомель: Гомельская ТЭЦ-2, 2008. – 156 с.

6. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. А. Создание демонстрационных зон высокой энергоэффективности на объектах Белорусской энергосистемы / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 6. – С. 73–80.

7. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций: РД 34.30.104–81. – М.: Союзтехэнерго, 1982. – 106 с.

8. Методические указания по прогнозированию химического состава и накипеобразующих свойств охлаждающей воды электростанций: РД 34.37.307–87. – М.: Союзтехэнерго, 1989. – 22 с.

9. Технический отчет по испытаниям и эксплуатации системы шариковой очистки конденсатора 180-КЦС-1 турбины Т-180/210-130 ЛМЗ Гомельской ТЭЦ-2. – Гомель: Гомельская ТЭЦ-2, 2007. – 36 с.

10. Тумановский, А. Г. Эффективность использования системы шариковой очистки конденсатора паровой турбины / А. Г. Тумановский, Ю. Г. Иванов, Н. В. Болдырев // Новости теплоснабжения. – 2011. – № 7. – С. 29–32.

REFERENCES

1. Z e n o v i c h - L e s h k e v i c h - O l ' p i n s k i y , Yu. A., & Unukovich, Yu. N. (2004) Automated System of Ball-Cleaning for the Condenser of Turbine T-180/210-130 *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 8, 5–7 (in Russian).

2. *A d j u s t i n g the Ball-Cleaning System of the Condenser of Turbine K-300-240 LMZ of Lukoml' GRES Block 1. Technical Report.* Moscow, Soyuztekhenergo, 1988. 55 p. (in Russian).

3. *Developing and Implementation of New Designs of Apparatuses and the BCS-Technological Schemes for the Turbines Condensers of the Blocks of the Lukoml' GRES. Technical Report.* Moscow, Soyuztekhenergo, 1990. 68 p. (in Russian).

4. Z e n o v i c h - L e s h k e v i c h - O l ' p i n s k i y , Yu. A. (2006) Experience and Working Results of the High Energy-Efficiency Demonstration Area of the Affiliated Branch of “Gomel CHP-2” RUP “Gomel’energo”. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 8, 6–7 (in Russian).

5. *E n e r g y Characteristics of the Gomel TPP-2 Equipment and the Algorithm for Ascertainment of the Standard Specific Fuel Rate on the Net Output Electric and Heat Energy. Vol. 2.* Gomel, Gomel CHP-2, 2008. 156 p. (in Russian).

6. Z e n o v i c h - L e s h k e v i c h - O l ' p i n s k i y , Yu. A. (2008) Creation of Demonstrational Areas of High Energy-Efficiency on the Objects of the Belorussian Energy System. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'Edinenii SNG – Energetika* [Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Energetika], 6, 73–80. (in Russian).

7. RD 34.30.104–81. Recommended Practices on Heat Calculations for the Surface Condensers of the Large Turbines of the Thermal and Nuclear Power Plants. Moscow, Soyuztekhenergo, 1982. 106 p. (in Russian).

8. RD 34.37.307–87. Instructional Guidelines on Prognostication of the Chemical Composition and Scale-Forming of the Power Plants Cooling Water. Moscow, Soyuztekhenergo, 1989. 22 p. (in Russian).

9. *T e c h n i c a l Report on Testing and Exploiting of the Ball-Cleaning System for Condenser 180-KTsS-1 of Turbine T-180/210-130 LMZ in Gomel CHP-2.* Gomel, Gomel CHP-2, 2007. 36 p. (in Russian, unpublished).

10. T u m a n o v s k i y , A. G., Ivanov, Yu. G., & Boldyrev, N. V. (2011) Efficiency of the Ball-Cleaning System Employment for the Steam Turbine Condenser. *Novosti Teplosnabzheniia* [Heat-Supply News], 7, 29–32 (in Russian).

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 20.05.2014