

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО, ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ

УДК 620.424.1

Исследование эффективности пневмоимпульсной очистки ширмовых поверхностей котла ПК-38 Назаровской ГРЭС

© 2014 г. Аглиулин С.Г.¹, Николаев С.Ф.¹, Звегинцев В.И.², Юркин И.А.², Шабанов И.И.², Палкин В.Ф.³, Сергиенко С.П.³, Власов С.М.³

ОАО “Сибтехэнерго”¹ – ООО “Сибтехакадем”² – Назаровская ГРЭС³

e-mail: zvegin@itam.nsc.ru

Для непрерывной профилактической очистки ширм первичного и вторичного трактов пароперегревателя котла ПК-38 Назаровской ГРЭС было предложено использовать новую пневмоимпульсную технологию, основанную на ударном воздействии струи воздуха на золовые отложения. Установка пневмоимпульсной очистки (ПИО) была смонтирована на котле ПК-38 (ст. № 6А), в процессе реальной эксплуатации которого были проведены ее испытания. Система ПИО обеспечила длительную (не менее 3 мес наблюдаемого периода) бесшлаковочную работу ширмовых поверхностей в диапазоне паровых нагрузок 215–235 т/ч при средней нагрузке 225 т/ч при температурах топочного газа перед ширмами 1220–1250°С.

Ключевые слова: поверхности нагрева, шлакование, пневмоимпульсная очистка, ударно-волновое воздействие.

DOI: 10.1134/S004036361409001X

Одно из основных ограничений продолжительной эксплуатации котельных агрегатов с максимальной нагрузкой – шлакование поверхностей нагрева. Поэтому паровые котлы, сжигающие твердое или жидкое топливо, должны оборудоваться системами очистки. Известны различные способы очистки поверхностей нагрева: паровая “пушечная” обдувка, дробевая, газоимпульсная, пневмоимпульсная, ультразвуковая очистка. Однако, как показывает опыт эксплуатации, надежных и эффективных средств очистки поверхностей нагрева от золовых отложений, особенно для углей Канско-Ачинских месторождений, до настоящего времени нет.

Для непрерывной очистки ширм первичного и вторичного трактов пароперегревателя котла ПК-38 Назаровской ГРЭС было предложено использовать новую пневмоимпульсную технологию, основанную на ударном воздействии воздуха на золовые отложения [1–3]. Данная установка ПИО была разработана для предупреждения шлакования ширм пароперегревателя и предотвращения налипания золовых частиц на элементы конвективной части котла. Установка ПИО была смон-

тирована на котле ПК-38 ст. № 6А в период с 04.07.09 по 30.09.09 (после предварительной ручной очистки котла). В дальнейшем сотрудниками ОАО “Сибтехэнерго”, ООО “Сибтехакадем” и НГРЭС были проведены испытания установки ПИО на действующем котле. В статье приведены результаты, полученные за период испытаний с 12.10.09 по 28.02.10.

Техническая характеристика котла ПК-38 ст. № 6А

На первой очереди Назаровской ГРЭС было установлено шесть энергоблоков по 150 МВт с котлами ПК-38. Паровой котел ПК-38 ст. № 6А, прямоточный, П-образной компоновки, с жидким шлакоудалением, рассчитан на сжигание угля Назаровского разреза (рис. 1). На фронтальной части котла установлены четыре прямоточные горелки. Он оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления прямого вдвигания с мельницами ММТ-1500/1910 и воздушной сушкой топлива, для растопки служат четыре мазутные форсунки.

В котле ПК-38 используется водяной экономайзер (ВЭ) некипящего типа, двухпоточный с расположением коллекторов с правой и левой стороны котла. Каждый поток содержит 120 параллельно включенных змеевиков из труб типоразмером 32 × 4 мм из стали 20. По ходу газов ВЭ разделен на три пакета, а по глубине конвектив-

¹ 630032, г. Новосибирск, Планировочная ул., д. 18/1. ОАО “Сибтехэнерго”.

² 630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, д. 2. ООО “Сибтехакадем”.

³ 660021, г. Красноярск, ул. Богда, д. 144а. НГРЭС.

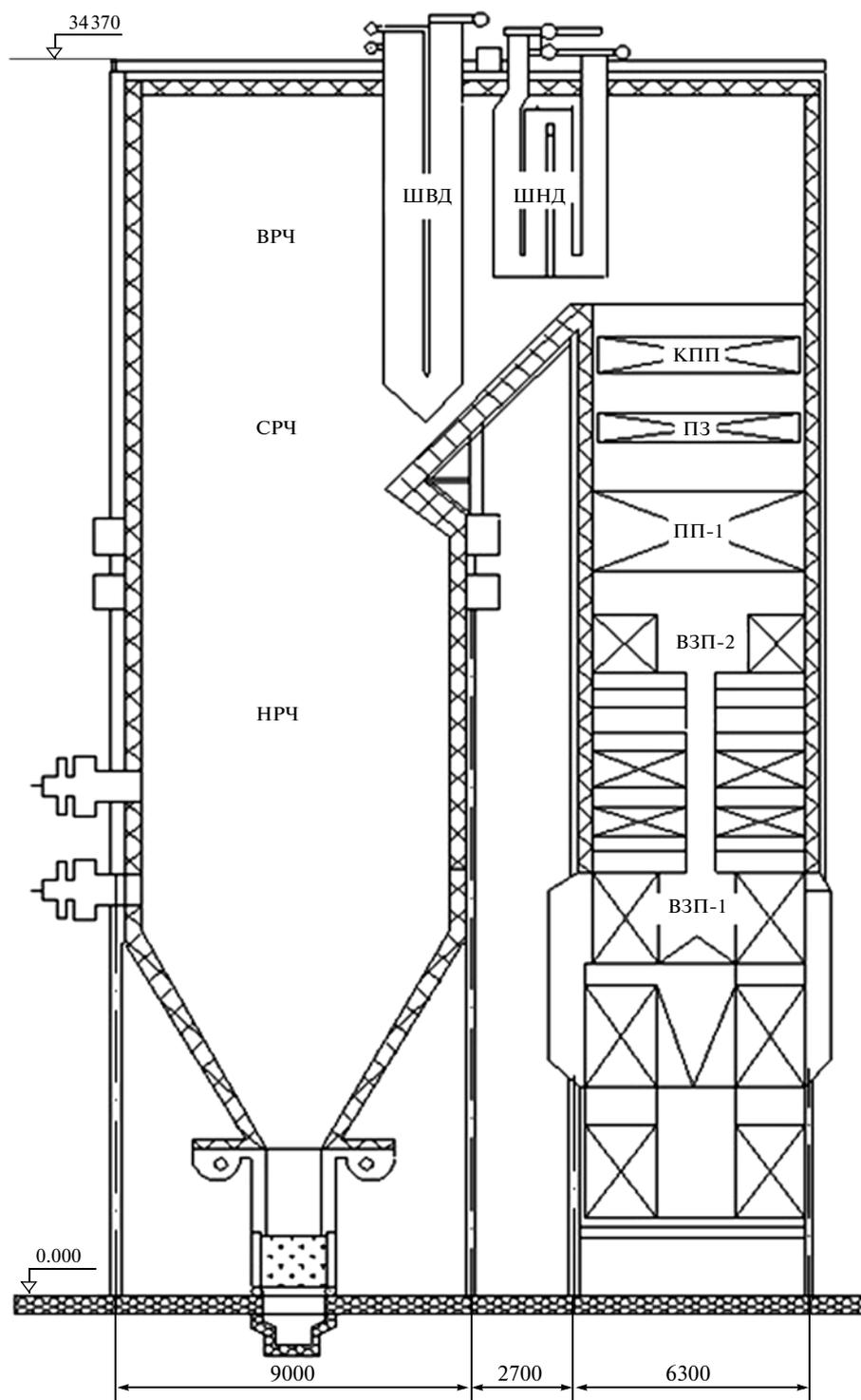


Рис. 1. Схема котла ПК-38.

НРЧ – нижняя радиационная часть; СРЧ – средняя радиационная часть; ВРЧ – верхняя радиационная часть; ШВД – ширмовый пароперегреватель высокого давления; ШНД – ширмовый пароперегреватель низкого давления; КПП – конвективный пароперегреватель; ПЗ – переходная зона; ПП-1 – промежуточный пароперегреватель первой ступени; ВЗП-1, ВЗП-2 – воздухоподогреватели первой и второй ступени

Основные характеристики котла ПК-38

Пар	Производительность, т/ч	Давление, МПа	Температура, °С
Первичный	270	13.73	545
Вторичный	240	3.14	545

ной шахты ВЭ – коробом для перепуска воздуха из первой ступени ВЭ во вторую.

Нижняя радиационная часть изготовлена в виде двухзаходной ленты (по 30 труб в каждом заходе ленты) с подъемом на боковых стенах и горизонтальным исполнением фронтальной и задней стен.

Средняя радиационная часть является радиационным пароперегревателем первичного пара и выполнена, как и НРЧ, в виде двухзаходной ленты (по 36 труб в каждом заходе). Трубы расположены с подъемом к боковым стенам под углом $12^{\circ}28'$, а на фронтальной и задней стенах – горизонтально. Используются трубы типоразмером 42×5 мм из стали 12Х1МФ. Экранируя топку котла, СРЧ делает в ней 2.5 витка.

Верхняя радиационная часть состоит из 97 параллельно включенных змеевиков, выполненных из труб типоразмером 42×5 мм из стали 12Х1МФ. Трубы ВРЧ поднимаются по диагонали боковой стены под углом к ней $25^{\circ}54'$, закрывая половину стены, и выходят к задней, где под углом 26° поднимаются к потолку, закрывая левую половину. Выйдя к потолку, трубы делают два хода, образуя потолочный экран; на котлах ст. № 6А, 6Б потолочный экран состоит из труб типоразмером 42×6 мм из стали 12Х1МФ.

На выходе газов из топки в горизонтальный газоход на задней стене топки выполнен аэродинамический выступ, который охлаждается средой, поступающей от входных коллекторов СРЧ. Аэродинамический выступ распределяет газовый поток по всей высоте горизонтального газохода.

Ширмовый пароперегреватель высокого давления расположен в тракте за СРЧ и состоит из 14 ширм, в каждой из которых закреплено штампованными полосами по 27 труб типоразмером 32×6 мм из стали 12Х1МФ (Х18Н12Т). Из входной камеры ШВД в промежуточный коллектор выходят шесть ширм (по три в каждой части), из промежуточного коллектора в выходную камеру ШВД – восемь ширм. Движение пара в ШВД прямоточное во входных и противоточное в выходных камерах.

Промежуточный пароперегреватель низкого давления состоит из 22 ширм, в каждой ширме закреплено полосами по 12 труб типоразмером 57×4 мм из стали 12Х1МФ (Х18Н12Т). Из входной камеры ШВД, разделенной на два коллектора, в промежуточный коллектор, также состоящий из двух частей, идут 12 ширм (по 6 в каждую

часть). Из промежуточного коллектора в выходные камеры пар поступает по 10 ширмам (по 5 шт. в каждой части).

Конвективный пароперегреватель прямоточный, выполнен одноступенчатым по ходу пара и однопакетным по ходу газов. Он состоит из 49 двойных трехниточных змеевиков (294 параллельно включенных змеевика) типоразмером 32×6 мм из стали 12Х1МФ (Х18Н12Т). Входная и выходная камеры расположены на правой стороне котла.

Переходная зона – представляет собой один противоточный пакет и содержит 106 двухниточных змеевиков из труб типоразмером 32×4 мм из стали 20. Подвод пара к ПЗ выполнен в виде “паука” – четырьмя трубами $D_y = 133$ мм. Входная и выходная камеры расположены на левой стороне котла.

Промежуточный пароперегреватель первой ступени находится в конвективной шахте между ВЗП-2 и ПЗ. Пароперегреватель ПП-1 является двухпоточным по пару, выходные камеры расположены по правой и левой сторонам котла. По ходу газов ПП-1 разделен на два пакета с разрывом между ними 550 мм. Каждый пакет состоит из 42 четырехниточных змеевиков из труб типоразмером 42×3.5 мм из стали 12Х1МФ. Регулирование выходной температуры пара высокого давления осуществляется двумя впрысками, а промежуточного пара – аварийным впрыском.

Двухступенчатый, двухпоточный ВЗП-1 набран из 18 кубов, установленных в три яруса. Длина его трубок – 2.6 м, типоразмер 40×1.5 мм из стали 3, общая площадь поверхности 14050 м². Каждый поток воздуха делает три хода и подогревается до 215°C ; часть подогретого воздуха (около 53%) идет на вторичное дутье и мазутные форсунки, оставшаяся часть по перепускным воздушным коробам поступает в ВЗП-2. Тягодутьевая установка состоит из двух вентиляторов типа ВДН-20П и двух дымососов типа Д-21.5 \times 2.

Одноходовый двухпоточный ВЗП-2 состоит из шести кубов, набранных в один ярус. Его трубки типоразмером 40×1.5 мм и длиной по 1.8 м изготовлены из стали 3. Площадь поверхности трубок ВЗП-2 – 3950 м². Температура воздуха на выходе из ВЗП-2 составляет $418\text{--}452^{\circ}\text{C}$.

Основные характеристики котла ПК-38 приведены в таблице.

Характеристика системы пневмоимпульсной очистки

В основу работы системы ПИО заложено ударно-волновое воздействие газовых струй на золы отложения, которое осуществляется с помощью пневмоимпульсных генераторов (ПГ) оригинальной конструкции [4]. Пневмоимпульсный генератор накапливает энергию сжатого воздуха в течение десятков секунд, затем резко (за доли секунды) выбрасывает его – таким образом выпол-

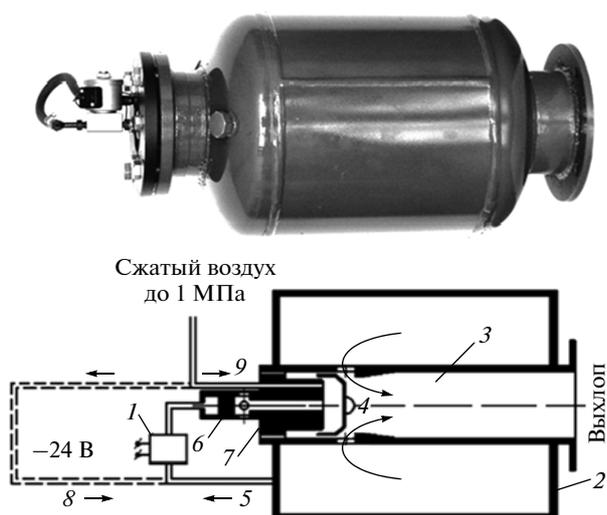


Рис. 2. Схема подключения и работы ПГ-25/8.

1 — электромагнитный распределитель; 2 — форкамера; 3 — выхлопное сопло; 4 — запорный клапан; 5 — управление от форкамеры; 6 — клапан сброса; 7 — гайка запорной пробки; 8 — управление от воздушной магистрали; 9 — заполнение форкамеры

няется технологическая операция очистки внутренней поверхности бункеров, трубопроводов, вентиляционных систем, теплообменников и других устройств. Кратковременность выхлопа позволяет организовать мощное импульсное воздействие на обрабатываемые поверхности.

На рис. 2 показана схема пневмоимпульсного газогенератора ПГ-25/8 [5]. В исходном состоянии запорный клапан ПГ находится в произвольном положении. При включении системы питания сжатый воздух от магистрали через входной штуцер поступает в полость под поршнем запорного клапана. Под действием избыточного давления в этой полости запорный клапан перемещается вправо и упирается в конический вкладыш. При этом перекрывается выход воздуха из полости корпуса форкамеры через выхлопное сопло. После этого воздух, перетекая через зазор между поршнем запорного клапана и цилиндрической направляющей корпуса, заполняет полость корпуса форкамеры в течение 20–30 с.

Для срабатывания ПГ необходимо подать сжатый воздух на вход клапана сброса. Изменение давления воздуха вызывает срабатывание клапана сброса, после чего происходит резкое уменьшение давления в полости под поршнем запорного клапана. Поршень отходит влево, и запасенная в корпусе форкамеры порция сжатого воздуха выбрасывается через выхлопные отверстия в стенке трубы и далее через сопло, осуществляя необходимое ударно-волновое воздействие на поверхность. График изменения давления в форкамере в процессе выхлопа показан на рис. 3.

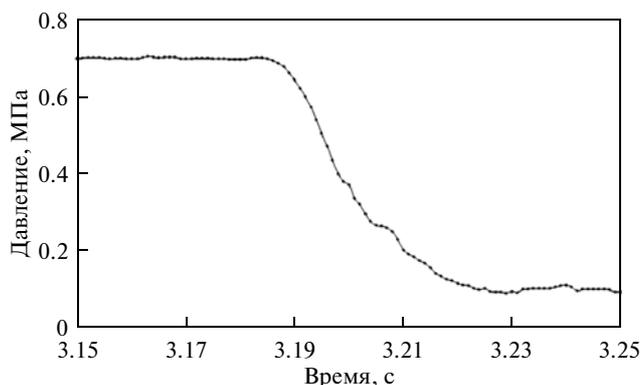


Рис. 3. Изменение давления в форкамере ПГ-25/8 во время выхлопа

Видно, что после открытия поршня в течение примерно 0.04 с газ выходит из форкамеры и давление здесь уменьшается до атмосферного. После выброса воздуха из корпуса форкамеры описанный процесс зарядки и срабатывания ПГ может быть повторен. Технические характеристики ПГ-25/8 следующие:

Геометрические параметры:

объем форкамеры, дм^3	25
диаметр, мм.....	300
длина, мм.....	625
диаметр выходного сопла, мм.....	120

Период срабатывания в автоматическом режиме, с.....	10–20
Масса, кг.....	40
Рабочее давление, МПа.....	0.3–0.8
Запасаемая энергия, кДж.....	8–20
Потребляемый расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$...	0.5
Условный диаметр трубопровода подачи воздуха к пневмоимпульсному генератору, мм.....	6
Продолжительность выхлопа, с.....	0.05

Условия применения:

температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	До +40
относительная влажность окружающей среды, %.....	До 80

Рассматриваемая система ПИО была разработана для предотвращения шлакообразования на внешних поверхностях трубных пакетов ширм пароперегревателя котла ПК-38. Система позволяет полностью автоматизировать процесс очистки, а использование воздуха как рабочего агента делает эту систему совершенно безопасной для рабочего персонала и оборудования.

Схема размещения системы ПИО на котлоагрегате ПК-38 ст. № 6А показана на рис. 4. Система включает в себя 18 генераторов типа ПГ-25/8

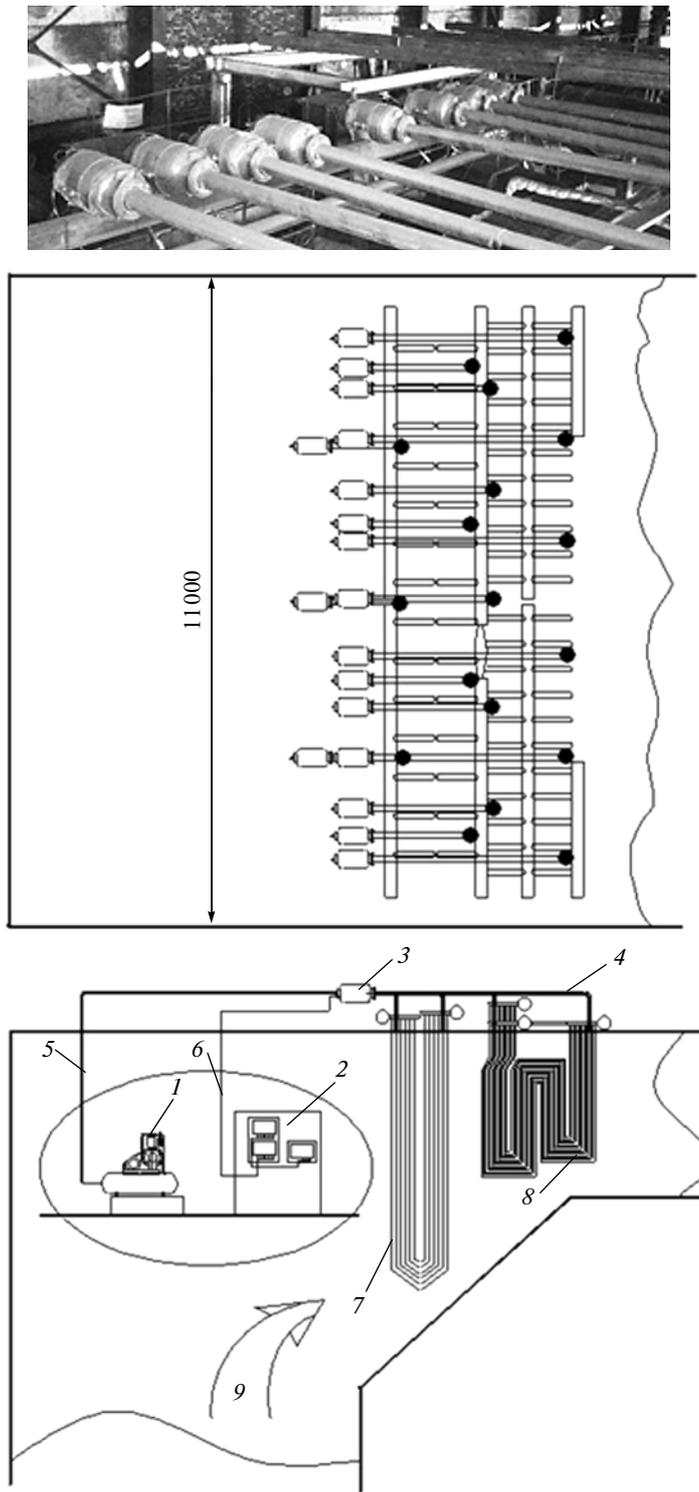


Рис. 4. Размещение системы ПИО на котле ПК-38.

1 – компрессор; 2 – система управления; 3 – пневмогенераторы ПГ-25/8; 4 – трубопроводы подачи импульса; 5 – магистрали сжатого воздуха; 6 – электролинии управления; 7 – первичные ширмы пароперегревателя; 8 – вторичные ширмы; 9 – направление движения топочных газов

(семь из них — для очистки ширм первичного тракта, шесть — в начале ширм вторичного тракта и пять — в конце ширм вторичного тракта). Включение ПГ производится системой управления из трех микропроцессорных блоков управления (МБУ) в автоматическом или ручном режиме. Сжатый воздух, необходимый для работы ПГ, подавался от бытового компрессора производительностью 650 л/мин через магистрали сжатого воздуха.

Описание методики и результатов испытаний

Испытания проводились специалистами ОАО “Сибтехэнерго”, ООО “Сибтехакадем” и отдела эксплуатации и режимов Назаровской ГРЭС по общепринятой методике ОРГРЭС [6–9]. Оперативный персонал котлотурбинного цеха обеспечивал режимы работы оборудования в соответствии с установленной программой. Все параметры режима работы котла и комплекса ПИО фиксировались в журналах наблюдений в объеме достаточном для проведения балансовых испытаний. Измерения температуры топочной камеры и топочных газов проводились оптическим пирометром до ширм первичного тракта и после ширм вторичного тракта оптическим пирометром “Проминь-1М”. Режим работы пневмоимпульсной системы определялся по результатам испытаний. За базовый режим работы пневмоимпульсной установки принимался каскадный с последовательным срабатыванием ПГ на ширмовых поверхностях первичного и вторичного трактов.

В период проведения испытаний на котле сжигался назаровский бурый уголь. Согласно результатам анализов, изменялись следующие характеристики сжигаемого угля: рабочая влага $W_p = 38.4–39.6\%$, рабочая зольность $A_p = 5.3–6.6\%$, теплота сгорания $Q_p = 13570–13680$ кДж/кг. Допустимые температуры топочных газов на выходе из топки по условию шлакования составляют $1166–1180^\circ\text{C}$. С учетом этого специалисты ОАО “Сибтехэнерго” в 2005 г. установили для котла ст. № 6А ограничение паровой нагрузки 235 т/ч. Однако реальная температура топочных газов в верхней части топки на уровне ширм уже при паровой нагрузке 230 т/ч достигает $1225–1237^\circ\text{C}$, а при паровой нагрузке 240 т/ч — $1260–1270^\circ\text{C}$.

Котел ст. № 6А был запущен в работу 01.10.09. В период с 12.10.09 по 14.10.09 проводилась режимная наладка системы ПИО. Были произведены опрессовка магистрали сжатого воздуха, проверка работоспособности всех компонентов системы, опробован ее запуск в ручном и автоматическом режимах. Были определены ограничения, накладываемые на режим работы системы эксплуатационными параметрами компрессора и МБУ. С 14.10.09 система ПИО была включена в работу в автоматическом режиме. Периодичность срабатывания ПГ в залповом режиме на ширмах пер-

вичного и вторичного трактов была установлена равной 30 мин, интервал между срабатыванием ПГ на ширмах первичного и вторичного трактов длился 5 мин. Давление сжатого воздуха в системе составляло $p = 0.80–0.85$ МПа.

После включения системы ПИО в работу за двое суток с 14.10.09 по 16.10.09 температура уходящих газов по сторонам при паровой нагрузке 230 т/ч уменьшилась от 160 и 154°C до 154 и 142°C и в дальнейшем изменялась незначительно.

Котел был остановлен 31.10.09 для устранения свища на ВЗП. Система ПИО продолжала работать в течение суток после остановки котла для расшлаковывания ширм, затем была отключена. При визуальном осмотре ширм было установлено, что ширмы первичного и вторичного трактов остаются в эксплуатационно-чистом состоянии.

Во время остановки также производился осмотр системы ПИО — все компоненты системы находились в рабочем состоянии. Были проведены регламентные работы: заменено масло в компрессоре, проверены резьбовые соединения ПГ. По результатам опытной эксплуатации режим работы системы ПИО был скорректирован. Периодичность срабатывания ПГ на ширмах первичного тракта была уменьшена до 15 мин, на ширмах вторичного тракта — оставлена прежней.

При пуске котла 16.11.09 система ПИО вновь была включена в работу. С 21.11.09 по 30.11.09 энергоблок был остановлен для ремонта турбины и вновь произведен осмотр ПГ и элементов системы очистки. При осмотре были выявлены и устранены следующие неполадки:

в нескольких ПГ произошло ослабление резьбовых соединений — соединения были подтянуты;

на одном ПГ было обнаружено залипание резинового уплотнительного кольца клапана сброса, при этом сбросные отверстия клапана оставались открытыми и сжатый воздух через них уходил наружу; уплотнительное кольцо было заменено, нормальная работа ПГ восстановлена.

В течение 3 мес. с 01.12.09 по 01.03.10 котел ст. № 6А работал без остановок с максимальной нагрузкой по пару до 235 т/ч. На рис. 5 показана относительная продолжительность работы котлов ст. № 6А и 6Б в зависимости от паровой нагрузки за два периода: 01.01.09–01.10.09 (до реконструкции) и 12.10.09–01.03.10 (после установки ПИО). Видно, что до реконструкции паровая нагрузка котла ст. № 6А составляла 200–215 т/ч. После реконструкции она возросла до 215–235 т/ч при средней нагрузке 225 т/ч. В эти же периоды средняя нагрузка аналогичного котла ст. № 6Б практически не менялась и составляла 195 т/ч при диапазоне 185–205 т/ч.

В период проведения испытаний температуры уходящих газов за КПП и ПЗ измерялись штатными термомпарами, установленными с двух сто-

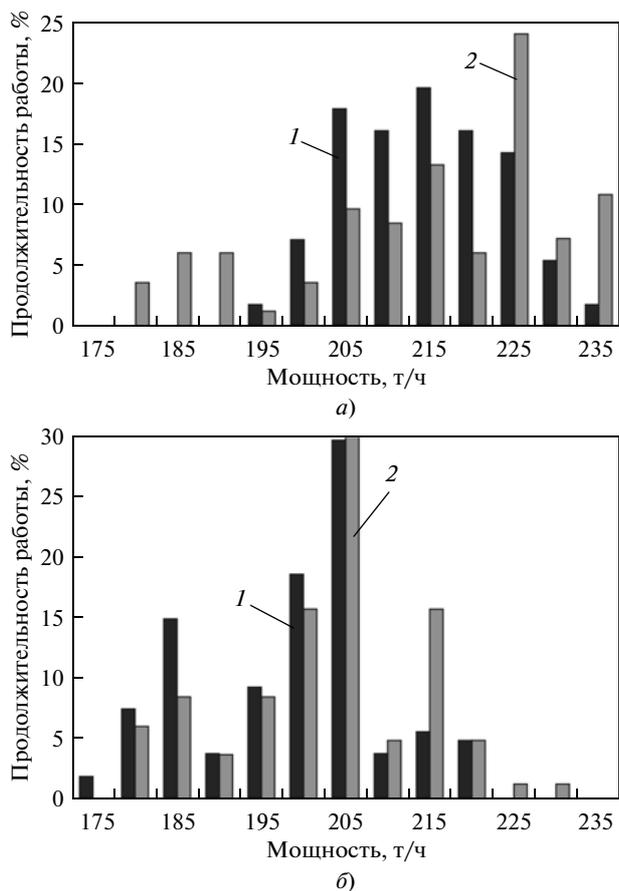


Рис. 5. Диаграммы относительной продолжительности работы котлов ст. № 6А (а) и 6Б (б) при различных нагрузках за период с 01.01.09 по 01.03.10.

1 – до реконструкции; 2 – после установки системы ПИО

рон котла. На рис. 6 показаны результаты измерений в зависимости от паровой производительности котла. Видно, что после установки системы ПИО температура газа за КПП и ПЗ уменьшилась в среднем на 50°C . Это свидетельствует о повышении эффективности тепловосприятия при использовании системы ПИО. По температуре на котле ст. № 6Б в рассматриваемые периоды времени получены аналогичные данные.

На рис. 7 представлены расчетные и измеренные температурные характеристики пароперегревателя. Параметры перегретого пара за котлом ст. № 6А в исследуемом диапазоне паровых нагрузок 200–235 т/ч соответствуют расчетным значениям. С помощью штатных впрыскивающих устройств в автоматическом режиме поддерживаются расчетные температурные параметры пара на уровне 545°C .

В процессе эксперимента специалисты ОАО «Сибтехэнерго» тщательно анализировали технико-экономические показатели рассматриваемой технологии очистки. По итогам его проведе-

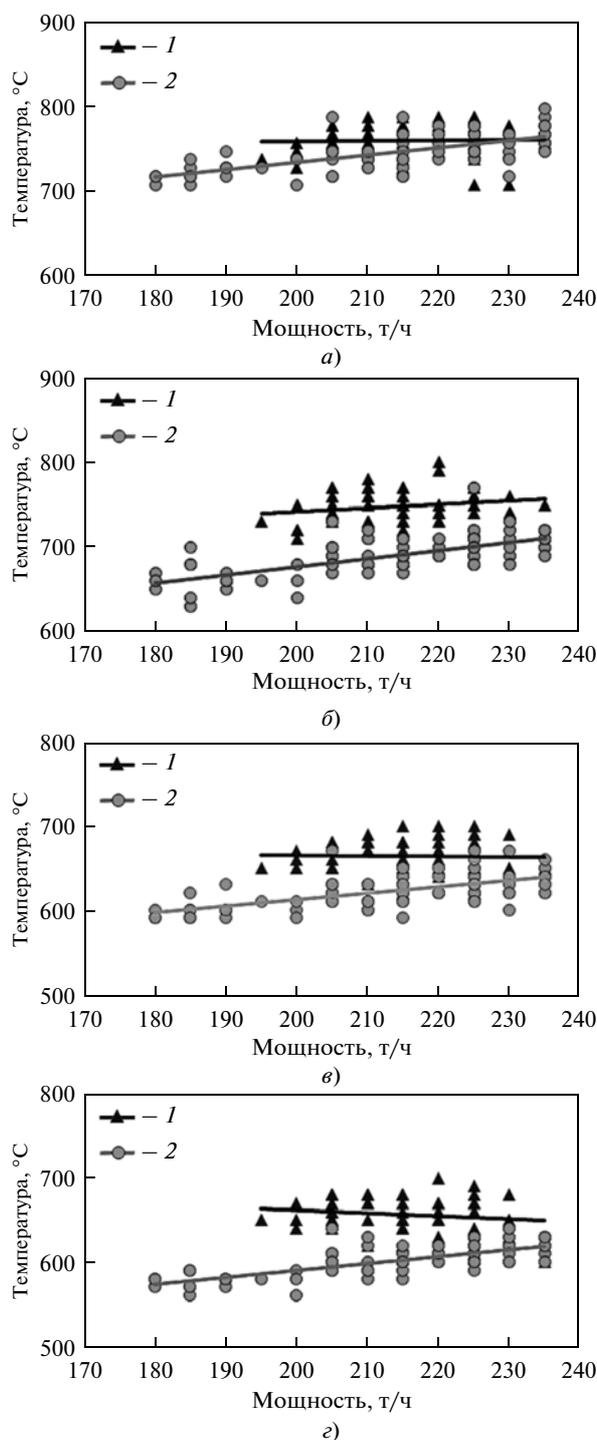


Рис. 6. Измерения температуры топочных газов на котле ст. № 6А.

а – слева после КПП; б – справа после КПП; в – слева после ПЗ; г – справа после ПЗ; 1 – до реконструкции; 2 – после установки системы ПИО

ния в 2012 г. был выпущен обобщающий отчет «Результаты испытаний новой пневмоимпульсной установки очистки поверхностей нагрева котла ПК-38 ст. № 6А Назаровской ГРЭС», в ко-

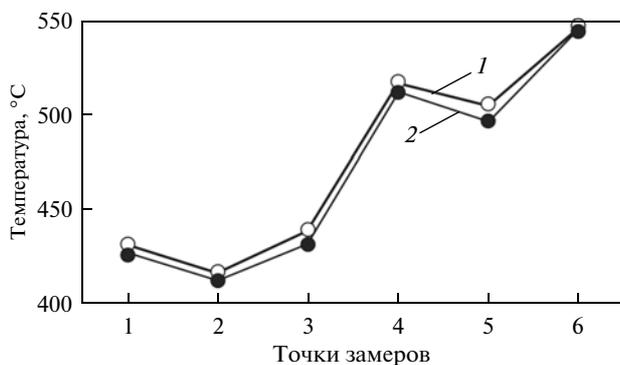


Рис. 7. Температурные характеристики пароперегревателя.

1 — расчетные данные; 2 — результаты измерений

тором выполнен анализ технико-экономического эффекта от внедрения ПИО в соответствии с методикой [10]. В нем показано, что исходные затраты на проведение технических мероприятий по созданию пневмоимпульсной установки составили 10 млн руб., затраты на ее эксплуатацию — 329 тыс. руб. Чистая прибыль от использования системы ПИО, включая экономию топлива в связи с повышением КПД и предотвращением отказов оборудования, равняется 4106 тыс. руб/год. Срок окупаемости системы ПИО с учетом капитальных и эксплуатационных затрат составляет примерно 2,4 года.

Выводы

1. Система ПИО обеспечила длительную (не менее 3 мес согласно наблюдениям) бесшлаковочную работу ширмовых поверхностей в диапазоне паровых нагрузок 215–235 т/ч при средней нагрузке 225 т/ч при температурах топочного газа перед ширмами 1220–1250°C, что значительно превышает допустимую температуру топочных газов по условиям шлакования (1166–1180°C).

2. Температура газа за КПП и ПЗ уменьшилась в среднем на 50°C, а температура уходящих газов по сторонам снизилась от 160 и 154°C до 154 и 142°C.

3. Визуальный осмотр ширм пароперегревателя показал, что ширмы первичного и вторичного трактов находятся в эксплуатационно-чистом состоянии.

4. В регулировочном диапазоне паровой нагрузки 200–235 т/ч котел устойчиво работал с поддержанием нормативных параметров пара с помощью штатных впрыскивающих устройств, функционировавших в автоматическом режиме.

5. Срок окупаемости пневмоимпульсной системы очистки составляет 2,4 года.

Список литературы

1. **Пневмоимпульсные** системы очистки конвективной шахты котла П-67 / В.И. Звегинцев, В.Ф. Чиркашенко, В.В. Харченко, Ф.А. Серант // Электрические станции. 2003. № 7. С. 19–22.
2. **Звегинцев В.И., Шабанов И.И.** Опыт создания пневмоимпульсных систем очистки конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов // Энергетик. 2009. № 1. С. 21–24.
3. **Численное** моделирование нестационарной газовой струи, создаваемой импульсным генератором / С.М. Аульченко, В.П. Замураев, В.И. Звегинцев, В.Ф. Чиркашенко // ИФЖ. 2005. Т. 78. № 2. С. 145–151.
4. **Пат. РФ № 2023228.** Пневмоимпульсный генератор для очистки поверхностей / В.И. Звегинцев // БИ. 1994. № 21.
5. **Звегинцев В.И.** Пневмоимпульсный генератор ПГ-25/8. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Новосибирск: ООО “Сибтехакадем”, 2006.
6. **Трембля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А.** Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998.
8. **РД 34.08.552-95.** Методические указания по составлению отчета электростанций и АО энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования. М.: Минтопэнерго, 1995.
9. **Пеккер Я.Л.** Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. М.: Энергия, 1977.
10. **РД 153-34.1-09.321-2002.** Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС. М.: РАО “ЕЭС России”, 2003.