

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ШЛАКОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Загородний И.В.*

*АО «Красноярская ТЭЦ-1», г. Красноярск*

**Ключевые слова:** твердое органическое топливо, энергетический котельный агрегат, система технической диагностики шлакования и загрязнения, поверхности нагрева, тепловая эффективность, энергосбережение.

**Аннотация.** Разработка системы технической диагностики процессов шлакования и загрязнения поверхностей нагрева пылеугольных паровых котлов, функционирующая в режиме online на основе интерпретации штатной информации АСУ ТП и научно-обоснованных алгоритмов обработки балансовых уравнений для оценки тепловой эффективности радиационных, полурadiационных и конвективных поверхностей нагрева. Система реализована на уровне алгоритмического и программного обеспечения на языке программирования C#, встроенную в действующую систему АСУ котельного агрегата. Проект направлен на повышение надежности, эффективности и экономичности работы паровых котлов путем оперативного поддержания поверхностей нагрева в эксплуатационном чистом состоянии, обеспечивающим оптимальные режимные характеристики основного технологического оборудования.

Данная система находится на стадии опытной эксплуатации на котлоагрегате БКЗ-500-140 ст.№6 АО «Красноярская ТЭЦ-2». Ожидаемый эффект от внедрения на данном котле за счет уменьшения циклов обдувки и уменьшения интенсивности шлакования составит 2,175 млн. руб в год на один котлоагрегат.

## EXPERT ASSESSMENT OF SLAGGING PROCESSES AND CONTAMINATION OF HEATING SURFACES OF STEAM BOILERS IN REAL TIME

*Zagorodny I.V.*

*JSC «Krasnoyarsk TPP-1», Krasnoyarsk*

**Keywords:** solid organic fuel, power boiler unit, technical diagnostics system for slagging and contamination, heating surfaces, thermal efficiency, energy saving.

**Abstract.** Development of a system for technical diagnostics of processes of slagging and contamination of heating surfaces of coal-fired steam boilers, functioning in online mode on the basis of interpretation of standard information of automated control systems and scientifically-based algorithms for processing balance equations for evaluating the thermal efficiency of radiation, semi-radiation and convective heating surfaces. The system is implemented at the level of algorithmic and software in the C# programming language, built into the existing automated control system of the boiler unit. The project is aimed at improving the reliability, efficiency and efficiency of steam boilers by promptly maintaining the heating surfaces in an operational clean state, ensuring optimal performance characteristics of the main process equipment.

This system is at the stage of pilot operation at the boiler unit BKZ-500-140 St. No. 6 of JSC "Krasnoyarsk TPP-2". The expected effect of the introduction of this boiler by reducing the blowing cycles and reducing the intensity of slagging will be 2,175 million rubles per year per boiler unit.

В современной мировой энергетике на электростанциях, работающих на твердом органическом топливе, несмотря на огромное количество научных исследований, сохраняет свою актуальность проблема шлакования поверхностей нагрева энергетических котельных агрегатов. Данная проблема актуальна в силу того, что невозможно в режиме он-лайн отслеживать точный состав твердого топлива, состав его минеральной части, тонину помола и другие факторы, влияние которых на ведение режима энергетических котлов играют значительную роль [1].

Подтверждением наличия данной проблемы является статистика отказов оборудования котельных цехов пылеугольных электростанций: доля отказов оборудования пылеугольных котлоагрегатов российских станций из-за отказов поверхностей нагрева составляет 79,4% от общего числа отказов [2]. При этом доля отказов поверхностей нагрева из-за проблем, вызванными шлакованием, составляет 31,1%. Чистая прибыль крупных энергетических компаний, недополученная из-за недовыработки электрической энергии в результате проблем, вызванных шлакованием, составляет 874,6 млн.руб/год (без учета потери денег в результате потери мощности, несогласованной в КОМ) [3].

В силу того, что для большинства регионов России твердое топливо является самым дешевым источником энергии, современная Российская энергетика не может отказаться от его сжигания. В этой связи, в энергетике активно внедряются методы для борьбы с шлакованием поверхностей нагрева энергетических котлов. В настоящее время существуют методы, направленные на конструктивные изменения горелок или топочного пространства, или направленные на изменения способа сжигания топлива, например, газификация. Эти методы достаточно эффективны, однако они являются очень дорогими, что является малопривлекательным, а также долгосрочными, что увеличивает время простоя энергетических котлов и также приводит к экономическим потерям. Существуют методы, основанные на оперативных измерениях параметров котла и вычислению различных коэффициентов, характеризующих степень загрязнения поверхности котлоагрегата. Такие методы включают в себя традиционные устройства для очистки поверхностей нагрева и комплекс диагностики интенсивности шлакования.

В Мировой, и, в том числе, Российской энергетике широкое применение получили различные зарубежные комплексные программные решения, для определения он-лайн степени загрязнения поверхностей нагрева. Например, система технической диагностики шлакования и автоматического управления обдувочными аппаратами «FACOS» немецкой фирмы «Clyde-Bergemann GmbH» на котле П-67 №1 Березовской ГРЭС и котле ПК-39 №6 Рефтинской ГРЭС. Внедрение данной системы позволило увеличить КПД котла П-67 в среднем на 1%, а также повысить бесшлаковочную мощность на 50 МВт. Данная система является достаточно эффективной, однако она не учитывает ряд режимных факторов, таких как влажность или качество топлива. Также недостатком данной системы является ограниченность покрытия поверхности нагрева датчиками: зашлакованная область в данной системе может не попасть в область измерения.

В качестве более простой, дешевой и надежной системы для оценки интенсивности процессов шлакования предлагается разработанная система технической диагностики на основе штатной информации АСУ ТП, которая имеет в своем арсенале научно-обоснованные методики для определения степени загрязнения радиационных, полурadiационных и конвективных поверхностей нагрева, для которой достаточно количества штатных датчиков и средств очистки, установленных на котле. В системе диагностики предусмотрено наличие рекомендаций по месту и времени очистки, а также предусмотрена возможность по расчетным данным прогнозировать шлакование и давать рекомендации по месту установки обдувочных аппаратов.

Для оценки интенсивности шлакования наиболее оптимальным с точки зрения он-лайн измерений является измерение коэффициента тепловой эффективности  $\psi$  и коэффициента загрязнения  $\varepsilon$  для поверхностей нагрева в силу их нормируемости и безразмерности [4]. Оценка коэффициента тепловой эффективности осуществляется по следующему соотношению:

$$\psi = \frac{k_{\text{факт}}}{k_{\text{чист}}}, \quad (1)$$

где  $k_{\text{факт}}$  – фактический коэффициент теплопередачи реальной поверхности нагрева, кВт/(м<sup>2</sup>·°С);  $k_{\text{чист}}$  – коэффициент теплопередачи для чистой поверхности, кВт/(м<sup>2</sup>·°С).

Фактический коэффициент теплопередачи находится по уравнению

$$k_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{факт}} B_p}{F \Delta t}, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поверхности нагрева, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – среднелогарифмический температурный напор, °С;

$Q_{\text{факт}}$  – фактическое тепловосприятие поверхности нагрева, кДж/кг;  $B_p$  – расчетный расход топлива, кг/с.

В свою очередь, фактические тепловосприятия различных поверхностей нагрева котлоагрегата находятся по уравнениям

$$Q_{\text{фактШПП}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{xв} - Q_{\text{дон}} = \frac{D_{ne}}{B_p} (h'' - h') - Q_l, \quad (3)$$

$$Q_{\text{фактВЗП}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{xв} = \left( \beta_{zв} - \frac{\Delta \alpha}{2} \right) (H_{zв}^o - H_{xв}^o), \quad (4)$$

$$Q_{\text{фактКПП}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{xв} - Q_{\text{дон}} = \frac{D_{ne}}{B_p} (h'' - h') - Q_l, \quad (5)$$

$$Q_{\text{фактКВЭК}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{xв} = \frac{G_{ne}}{B_p} (h'' - h'). \quad (6)$$

где  $H', H''$  – энтальпии газов до и после поверхности нагрева, кДж/кг;  $D_{ne}$  – расход рабочей среды, кг/с ;

$h''$  и  $h'$  – энтальпии рабочей среды до и после поверхности нагрева, кДж/кг;  $\Delta H_{xв}$  – удельная величина присосов топлива, кДж/кг;  $Q_{\text{дон}}$  – тепловосприятие дополнительных (прилегающих) поверхностей;  $Q_l$  –

тепловосприятие поверхности нагрева излучением;  $\varphi$  – коэффициент сохранения тепла;  $H_{zв}^o, H_{xв}^o$  –

энтальпии горячего и холодного воздуха;  $\beta_{zв}$  – доля первичного воздуха;  $\Delta \alpha$  – величина присоса в

воздухоподогревателе;  $G_{ne}$  – расход питательной воды на котел, кг/с [1,5].

Принцип действия системы схематично представлен на рисунке 1. Данные с датчиков котла каждые 30 секунд поступают на контроллер, который преобразует электрические сигналы в числовые значения. Числовые значения поступают на сервер хранения баз данных, где они хранятся длительное время. Система считывает данные с БД, обрабатывает и верифицирует данные, производит расчет, и

выводит получившиеся значения в виде графиков на монитор оператора, дает оценку уровня шлакования, а также рекомендации о включении средств очистки.

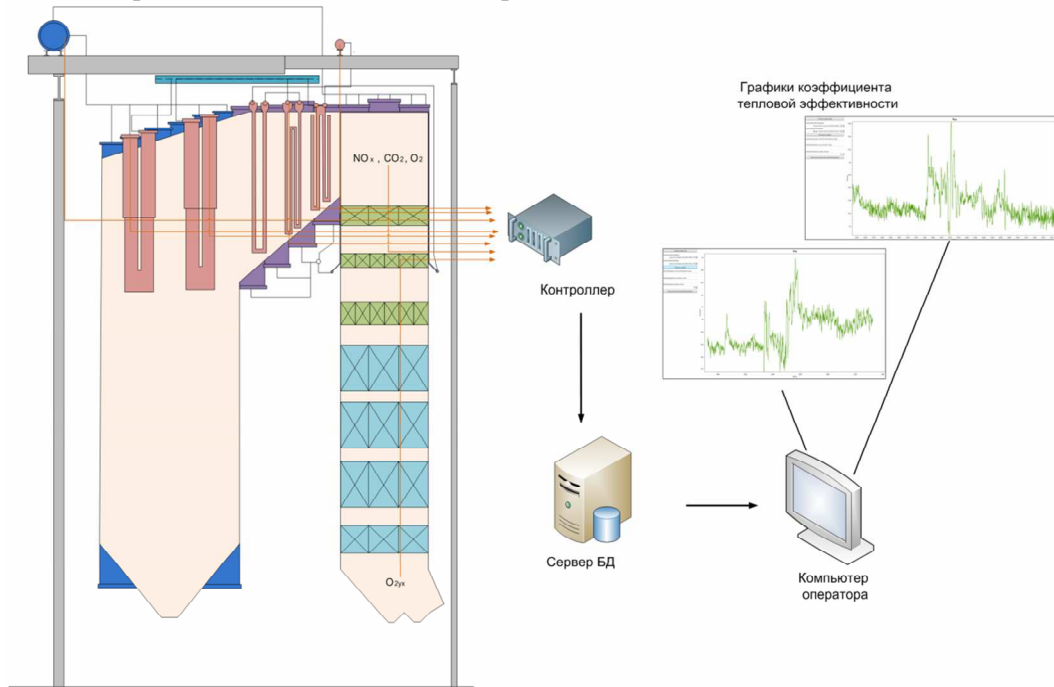


Рис. 1. Принципиальная схема экспертной системы оценки интенсивности шлакования

Особенностью системы диагностики является использование найденного по реальным эксплуатационным и конструктивным параметрам в режиме он-лайн коэффициента чистоты поверхности  $k_{чист}$ . Новизной системы является возможность использования методики для расчета коэффициента тепловой эффективности всех поверхностей нагрева котлоагрегата, включая топочную камеру.

На рисунке 2 представлен график зависимости коэффициента тепловой эффективности конвективного пароперегревателя первой ступени котла БКЗ-500 ст.№4 АО «Красноярская ТЭЦ-2» по данным за 20-21 марта 2018г. в период с 23:00 до 03:00 котел работал в неоптимальном режиме, что приводило к снижению надежности и экономическим потерям. Резкий скачок коэффициента в районе 03:30 соответствует паровой обдувке пароперегревателя.

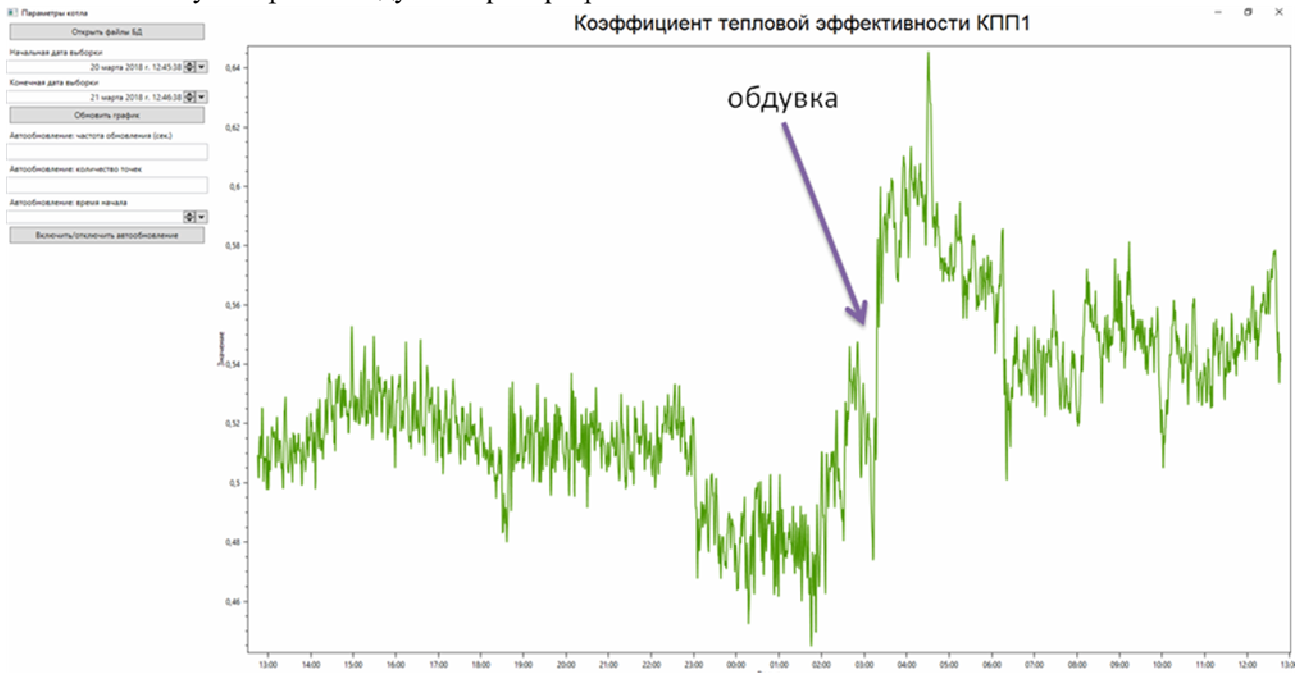


Рис. 2. коэффициент тепловой эффективности конвективного пароперегревателя первой ступени котла БКЗ-500 ст.№4 АО «Красноярская ТЭЦ-2» 21 марта 2018г.

Ожидаемый эффект от внедрения на котлоагрегате БКЗ-500-140 ст. №6 Красноярской ТЭЦ-2 за счет уменьшения циклов обдувки и уменьшения интенсивности шлакования по предварительной оценке составит 2,175 млн. рублей в год.

**Список литературы**

1. Янов С.Р., Бойко Е.А. Обоснование применения экспериментально-расчетного подхода к оценке тепловой эффективности полураспределенных и конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов // Известия вузов. Проблемы энергетика. 2008. №11-12. С. 3-12.
2. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод С.С. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 218 с.
3. Воропай Н.И. Надежность систем энергетика. Проблемы, модели и методы их решения. – Новосибирск: Изд-во "Наука", 2014. – 284 с.
4. A review on boiler deposition/fouling prevention and removal techniques for power plant. Recent advances in energy and environment / N. Hare, M. Rasul, S. Mozzaem // Proceedings of the 5th IASME / WSEAS International Conference on Energy and Environment, University of Cambridge, Cambridge, England 2010. P. 217-222.
5. Simulation of ash deposition in different furnace temperature with a 2D dynamic mesh model / Hao Zhou, Kun Zhang, Yawei Li, Jiakai Zhang, Mingxi Zhou // 2018. P. 4-10

**Сведения об авторе:**

*Загородний Игорь Владимирович* – магистрант, СФУ, г. Красноярск.

УДК 537.39

<https://doi.org/10.26160/2618-7493-2020-3-75-76>**ВНЕШНИЕ СВЕТОВЫЕ ОГНИ***Перевозчиков И.А.**Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г.Казань***Ключевые слова:** световые огни, системы освещения, сигнал.**Аннотация.** В статье рассмотрены внешние световые огни самолетов, их виды и назначение. Также было приведено их размещение на самолете и его частях.**EXTERIOR LIGHT LIGHTS***Perevozchikov I.A.**Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan***Keywords:** light lights, lighting systems, signal.**Abstract.** The article examined the external light lights of aircraft, their types and purpose. Also they were shown their placement on the aircraft and its parts.

Практически все типы самолетов оснащены внешними огнями различного описания. Тип, назначение и сложность систем освещения, установленных на внешней стороне конкретного воздушного судна, различаются в зависимости от его размера, роли и нормальной среды полета. Внешнее освещение, в общих чертах, служит для достижения трех целей:

- сделать самолет более заметным для других самолетов;
- улучшить видимость пилота на критических этапах полета;
- обеспечить освещение для какой-то другой конкретной цели.

Обратите внимание, что часто используются некоторые внешние источники света. Например, посадочные огни не только значительно улучшают способность пилота видеть взлетно-посадочную полосу во время взлета и посадки, но также позволяют самолету быть видимым наземным персоналом и другим воздушным движением.

Некоторые огни первых двух категорий являются обязательным требованием в темное время суток. При некоторых обстоятельствах может быть предоставлена помощь по списку минимального оборудования.

Следующие системы освещения предназначены для уменьшения вероятности столкновения, делая самолет более заметным для других воздушных судов во время полета и для наземного движения во время маневрирования на аэродроме.

Навигационные огни. Навигационные огни состоят из красного огня слева на концевой части левого крыла, зеленого света справа на концевой части правого крыла и белого света на хвостовой части самолета. Двойные системы часто устанавливаются для обеспечения резервирования в случае отказа лампы. В самолете, оборудованном маяком, навигационные огни обычно горят постоянно, тогда как в самолете без маяка навигационные огни будут мигать.

Маяк. Огни маяка самолета имеют красный цвет и мигают или вращаются, чтобы обеспечить пульсирующий предупредительный световой сигнал. Обычно они устанавливаются парами: один сверху фюзеляжа, а другой снизу. Маяк обычно включается до запуска двигателя и выключается после выключения двигателей.