

## **СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ШЛАКОВАНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ**

*Загородний И.В.*

**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 и эффективности работы паровых котлов путем оперативного поддержания поверхностей нагрева в эксплуатационном чистом состоянии, обеспечивающим оптимальные режимные характеристики основного технологического оборудования.

## **SYSTEM OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF THE PROCESSES OF SLAGGING AND CONTAMINATION OF HEATING SURFACES OF PULVERIZED COAL STEAM POWER BOILERS**

*Zagorodniy I.V.*

**Keywords:** solid fossil fuels, energy boiler unit, system for the technical diagnosis of slagging and pollution, heating surfaces, thermal efficiency, energy saving.

**Abstract.** The development of a system for the technical diagnosis of slagging processes and contamination of the heating surfaces of coal-fired steam boilers is presented, which operates online based on the interpretation of the standard information of the automatic process control system and scientifically based algorithms for processing balance equations to evaluate the thermal efficiency of radiation, semi-radiation and convective heating surfaces. The system is implemented at the level of algorithmic and software in the programming language C #, which is built into the current system of the ACS of the boiler unit.

The project aims to increase the reliability and efficiency of steam boilers by quickly maintaining heating surfaces in an operational clean state, ensuring optimal performance characteristics of the main technological equipment.

В современной мировой энергетике на электростанциях, работающих на твердом органическом топливе, несмотря на огромное количество научных работ и 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 ведения режима энергетических котлов играют огромную роль [1]. Именно поэтому данная проблема является актуальной, особенно для «сильно шлакующих» топлив, в частности, для Канско-Ачинских углей.

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 долговременными, что увеличивает время простоя энергетических котлов и также приводит к экономическим потерям [2-3]. 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. Также стоит отметить другие системы диагностики компании Bergemann, например, SMART FluxSensor, которая при помощи специальной вставки в экранную трубу определяет коэффициент теплопередачи, а также SMART Gauge, которая измеряет веса зольных отложений на конвективных поверхностях теплообмена. Данные системы являются достаточно эффективными, однако многие не учитывают ряд важных факторов, что является не всегда точным. Более того, зарубежные системы требуют колоссальных затрат, а также установки большого количества оборудования и датчиков, что снижает их привлекательность.

В этой связи существует потребность в создании недорогих альтернативной системы технической диагностики процессов шлакования поверхностей нагрева в режиме он-лайн, которая бы имела в своем арсенале вычислительный аппарат для определения степени загрязнения поверхности по данным с АСУ ТП котельного агрегата, для которой было бы достаточным количество штатных датчиков и обдувочных аппаратов, установленных на котле. В системе диагностики должно быть предусмотрено наличие рекомендаций по месту и времени и параметрам очистки, а также предусмотрена возможность по расчетным данным прогнозировать шлакование и давать рекомендации по месту установки обдувочных аппаратов. Наиболее дешевым и простым 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 для полурadiaционных, конвективных поверхностей и воздухоподогревателя, находятся соответственно по уравнениям 3-5:

$$Q_{\text{полурadiaц}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{\text{хв}} - Q_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{не}}}{B_p} (h'' - h') - Q_{\text{л}}, \quad (3)$$

$$Q_{\text{конвект}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{\text{хв}} - Q_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{не}}}{B_p} (h'' - h'), \quad (4)$$

$$Q_{\text{фактВЗП}} = \varphi(H' - H'') + \Delta H_{\text{хв}} = \left( \beta_{\text{зв}} - \frac{\Delta \alpha}{2} \right) (H_{\text{зв}}^o - H_{\text{хв}}^o), \quad (5)$$

где  $H'$ ,  $H''$  – энтальпии газов до и после поверхности нагрева, кДж/кг;  $D_{\text{не}}$  – расход рабочей среды, кг/с;  $h''$ ,  $h'$  – энтальпии рабочей среды до и после поверхности нагрева, кДж/кг;  $G_{\text{не}}$  – расход питательной воды, кг/с;  $V_{\text{воздух}}$  – расход воздуха через ВЗП, кг/с;  $Q_{\text{доп}}$  – тепловосприятие дополнительных (прилегающих) поверхностей;  $Q_{\text{л}}$  – тепловосприятие поверхности нагрева излучением;  $\varphi$  – коэффициент сохранения тепла;  $H_{\text{зв}}^o$ ,  $H_{\text{хв}}^o$  – энтальпии горячего и холодного воздуха [1,5].

Особенностью методики является использование найденного по реальным эксплуатационным и топливным параметрам в режиме он-лайн коэффициента чистоты поверхности  $K_{\text{чист}}$ . Новизной системы является возможность использования методики для расчета коэффициента тепловой эффективности как и конвективных, так и полурadiaционных и радиационных поверхностей нагрева котлоагрегата.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента полезного действия котла БКЗ-500 Красноярской ТЭЦ-2 от коэффициента загрязнения конвективного пароперегревателя первой ступени. На рисунке оранжевым

цветом показан коэффициент загрязнения конвективного пароперегревателя первой ступени, который меняется в процессе эксплуатации в силу режимных факторов и интенсивности шлакования. Можно заметить, что более высокому значению коэффициента загрязнения соответствует более низкий КПД.

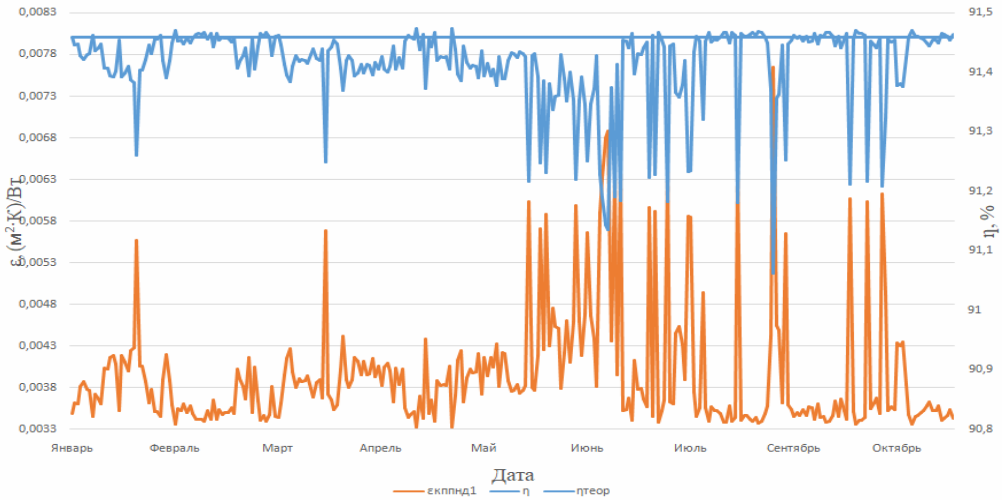


Рис. 1. Зависимость КПД котла от коэффициента загрязнения КПП 1 ступени

На примере котла БКЗ-500-140 ст.6 Красноярской ТЭЦ-2 по данным АСУ ТП было симитировано поведение коэффициентов чистоты ширмового и конвективного пароперегревателей (рисунок 2). На графике видно, что обдувка (резкие скачки вверх) осуществляется неэффективно: в некоторые моменты обдувка осуществляется слишком рано с точки зрения экономичности (точка А), в другие моменты (точки Б) обдувка осуществлялась слишком поздно, что приводило к понижению надежности, повышению риска пережога труб и к перерасходу топлива и потере экономичности.

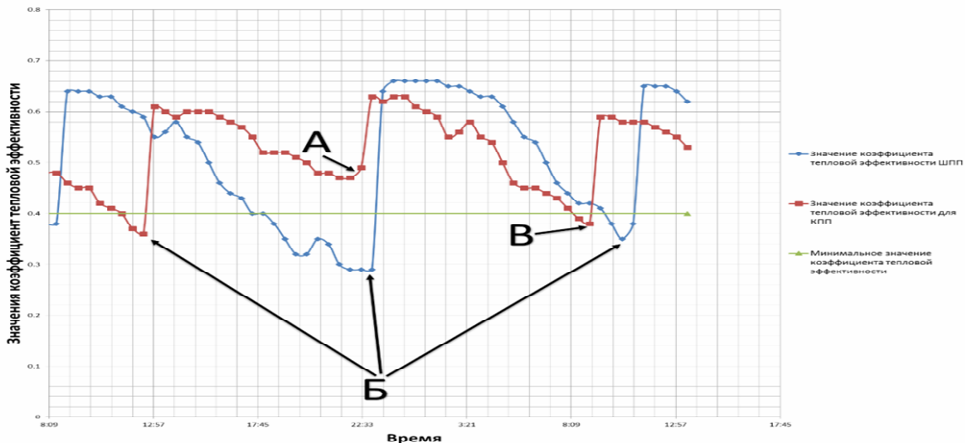


Рис. 2. Зависимость КПД котла от коэффициента загрязнения КПП 1 ступени

Внедрение данной системы диагностики на котлоагрегате БКЗ-500 ст.№6 позволяет сократить затраты на обдувку на 93000 руб/год для одного котла. Уменьшение циклов обдувки также позволит уменьшить количество ремонтов и расшлаковок и увеличить межремонтный период для поверхностей нагрева, вызванных термошоками, а также приведет к уменьшению числа пусков и уменьшению длительности внеплановых простоев оборудования, вызванных шлакованием, что позволит экономить 1100000 руб/год. Поддержание коэффициента тепловой эффективности поверхностей нагрева на оптимальном уровне позволяет поддерживать КПД котла близким к номинальному, что приводит к экономии в 660 т.у.т в год для одного котла, что также позволяет экономить почти 930000 руб/год.

### Список литературы / References

1. Янов С.Р., Бойко Е.А. Обоснование применения экспериментально-расчетного подхода к оценке тепловой эффективности полурadiационных и конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008. №11-12. С. 3-12.  
 1. Yanov S.R., Boyko E.A. The rationale for the application of the experimental-calculated approach to assessing the thermal efficiency of semi-radiation and convective heating surfaces of boiler units // Journal of News of Higher Educational Institutions "Problems of Energy". 2008. №11-12. P. 3-12.
2. Wiatros-Motyka M.A. Optimization of coal fineness in pulverized fuel boilers // Report «Optimizing fuel flow in pulverized coal and biomass-fired boilers» by IEA Clean Coal Center, 2016, p. 6-8.
3. Bilirgen N.A. Slagging in PC boilers and developing mitigation strategies // Fuel, 2014, 115, p. 618 - 624
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. Hao Zhou, Kun Zhang, Yawei Li, Jiakai Zhang, Mingxi Zhou, Simulation of ash deposition in different furnace temperature with a 2D dynamic mesh model // Journal of the Energy Institute volume 92, 2019, (6), p. 1743-1756.

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Загородний Игорь Владимирович</b> – студент, Сибирский федеральный университет, машинист-обходчик по котельному оборудованию, АО «Красноярская ТЭЦ-1», г.Красноярск, Россия, zigzagorodniy@gmail.com</p> | <p><b>Zagorodniy Igor Vladimirovich</b> – student, Siberian Federal University, crawler for boiler equipment, JSC «Krasnoyarsk TPP-1», г.Krasnoyarsk, Russia, zigzagorodniy@gmail.com</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Received 05.12.2019*