

УДК 681.2.082

## **КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ФАКЕЛА В ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛАХ (CONTROL OF FLAME IN COAL-DUST BOILERS)**

Б.Ш. Жунисбеков  
B.S. Zhunisbekov

Томский политехнический университет  
E-mail: [bj\\_08@mail.ru](mailto:bj_08@mail.ru)

Установлено, что в области энергетики необходимо внедрять высокоэкономичные системы контроля в целях обеспечения безопасности тепловых электростанций, поэтому данное исследование является актуальным. Цель исследования – разработать систему контроля положения факела в пылеугольных котлах. В статье рассмотрены методы контроля положения объекта – тепловые и оптические. Приведена структурная схема системы контроля положения.

(It was established that in the field of energy should be introduced high-efficiency control system to ensure the safety of thermal power stations, so the research is relevant. The purpose of research - to develop a system to monitor the position of the torch in the coal-fired boilers. The article describes the methods of monitoring the position of the object - thermal and optical. Was shown the block diagram of the position control.)

### **Ключевые слова:**

Контроль положения, тепловой контроль, оптический контроль, факел.  
( Position control, thermal control, optical control, flame).

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., одной из важнейших целей долгосрочной политики в области электро- и теплоэнергетики являются уменьшение удельных расходов ресурсов на производство тепловой и электрической энергии с помощью внедрения современного высокоэкономичного оборудования, оптимизация топливного баланса путем максимально возможного использования потенциала развития угольных тепловых электростанций [1].

В последнее время, в связи с повышением цен на газ, переориентация топливного баланса ТЭС с жидких и газообразных топлив на твердые является общемировой тенденцией. Доля пылеугольных тепловых электростанций при выработке электрической и тепловой энергии постоянно увеличивается в развитых странах и составляет около 60% в США, 80% в Казахстане и 87% в Китае [2]. В России же, из-за низких цен на газ во внутреннем рынке в 90-х годах XX столетия, эта доля составляет 19% (по состоянию на 2013 г.) [3]. Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., доля пылеугольных ТЭС будет расти.

В связи с вышеуказанной стратегией, в данный момент предъявляются повышенные требования к технологическому оборудованию, качеству производимой тепловой и электрической энергии, системам контроля производства энергии. Это требует разработки и внедрения автоматизированных систем, включающих в себя первичные датчики и блоки обработки и представления информации. Применительно к пылеугольным котлам, рассматриваемым в данной диссертационной работе, это означает необходимость многократного контроля положения факела.

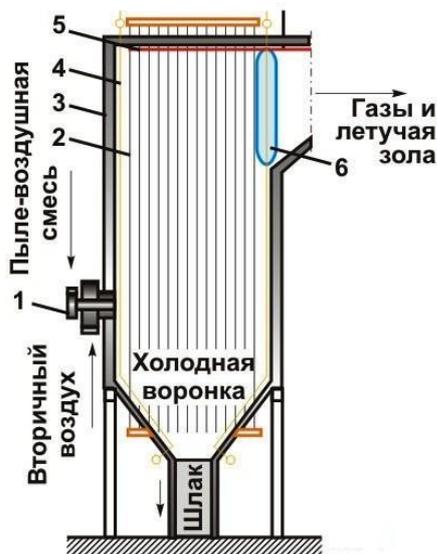
Смещение факела в пылеугольном котле может привести к следующим последствиям:

- неравномерность прогрева теплообменников котельного агрегата, что, в свою очередь, является причиной снижения тепловой эффективности котла;
- перегрев узлов крепления, что может стать причиной вибрации, а то и обрушения котлоагрегата;
- повышенный износ труб теплообменников, вследствие чего потребуются несвоевременная замена труб.

Основным элементом котельного агрегата, является топочная камера, где будет осуществляться контроль положения факела.

Топка представляет собой камеру прямоугольной формы, где выгорание топлива осуществляется в факеле, который заполняет объем данной топки [4]. По виду сжигаемого топлива топки делятся на пылеугольные и для сжигания жидкого и газообразного топлива [5]. Для обеспечения сгорания частиц топлива в течение короткого пребывания в топочном объеме, нужно подавать их в топочную камеру в измельченном виде. Это нужно для того, чтобы достичь увеличения поверхности соприкосновения топлива с воздухом. Топливо измельчается до пылевидного состояния в специальных угольных мельницах. Топливо, измельчаемое в мельницах, подвергается сушке в целях обеспечения производительности и бесперебойной работы этих мельниц. Котлы с пылеугольными топочными камерами необходимо снабдить системой устройств пылеприготовления. В устройствах пылеприготовления твердое топливо проходит следующие стадии подготовки: дробление, сушку и измельчение. Приготовленное пылевидное топливо первичным воздухом подается в горелки топки для сжигания.

Схема пылеугольной топки представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема пылеугольной топки

1 – горелка; 2 – топочная камера; 3 – обмуровка; 4 – топочный экран;  
5 – пароперегреватель; 6 – фестон

Стены топки покрыты вертикально расположенными кипяtilными трубами, которые называются топочным экраном 4. Верхняя часть камеры примыкает к пароберегревателю 5, и отделяется от него фестомом 6, Нижняя часть котла, которая выполнена в виде усеченной воронки, называется холодной воронкой. В стенке топочной камеры размещается пылеугольная горелка. Сгорание топлива осуществляется в топке во взвешенном состоянии и образует при этом факел в виде яркого светящегося пламени. Температура, которая возникает в факеле пылеугольной топочной камеры, снижается при поглощении большого количества тепла трубками теплообменников в топке [5].

Для контроля положения факела применяется термоэлектрический метод, проще говоря, контроль положения с помощью термопар.

Термопара, которая образована из двух проводников А и В, а два их спая имеют температуру  $T_1$  и  $T_2$ , создает электродвижущую силу, зависящую от материала проводников А и В, также от температур  $T_1$   $T_2$ . Обычно температура одного спая является постоянной и известной; она служит опорной, или нулевой точкой  $T_1 = T_g$ . Температура другого спая  $T_2$  равна температуре  $T_x$ , которую приобретает этот спай в среде исследуемого объекта с температурой  $T_x$ . Так как измерительная информация передается от спая, имеющего очень малые размеры, это дает возможность проведения точечных измерений температуры [6].

Термопары обладают очень широким диапазоном температур, в зависимости от материала термопары - от температур, близких к абсолютному нулю, до  $+2750^{\circ}\text{C}$  [7]. Эта характеристика термопар позволяет контролировать положение факела, температура которого достигает  $2000^{\circ}\text{C}$  [8].

При контроле положения факелов в пылеугольных котлах учитывается разница температур между двумя термопарами, стоящими на равном расстоянии от центра топки, в одном горизонте. Центр топки, он же центр факела определяется и устанавливается наладчиками теплоэнергетического оборудования. Для получения более точной информации о положении факела, в топке по периметру котла устанавливается по несколько термопар на разной высоте. Чем больше количество термопар в одном горизонте, тем более точно определяется положение факела.

Контроль положения осуществляется следующим образом: снимаются показания с термопар, сигналы поступают на измерительный преобразователь. Измерительный преобразователь вычитывают разницу показаний, и передает эту разницу в устройство обработки и регистрации сигналов. В случае, если температура одной из термопар превысило допустимое значение, то есть, факел отклонился в сторону одной из них, устройство обработки и регистрации сигналов выдает сигнал о смещении факела. Также сравниваются показания термопар, расположенных симметрично противоположно друг другу на одном горизонте. Это помогает определить, в какую сторону сместился факел. Далее получают сигналы с других горизонтов, для определения угла смещения факела. Полученные данные идут на АРМ оператора и отображаются на мониторе или другом устройстве отображения.

Метод контроля положения с помощью термопар имеет следующие достоинства: экономичность, удобство применения, возможность проведения измерений на довольно больших температурах [11].

Данный метод имеет ряд недостатков. Термопары обладают большой инерционностью, что не позволяет быстро и своевременно реагировать на изменение температуры. Обычно термопары имеют относительно большие погрешности измерений по сравнению с современными датчиками, так как один из контактов термопары должен находиться при известной (опорной температуре). Контроль положения с помощью термопар является контактным методом, поэтому при измерениях в пылеугольных котлах, где горящие гранулы угольной пыли являются причиной высокой абразивности и стачивают контакты термопар, что приводит к быстрому износу чувствительных элементов.

В связи с вышеуказанными недостатками, является целесообразным применять для контроля положения факела в пылеугольных котлах оптические методы контроля положения.

В настоящее время оптико-электронные приборы применяются во всех областях науки, техники, производства, в которых используется для измерения параметров и количественных характеристик не только физических, но и технологических процессов и для управления бытовой техникой и подвижными объектами.

При этом благодаря положительным свойствам оптического излучения, такие системы могут решать самые сложные многофункциональные задачи с высокими характеристиками точности, надежности, быстродействия, пропускной способности, возможностями логической и математической обработки информации.

Характерными представителями подобных систем являются оптические преобразователи. В таких преобразователях входная величина (линейное или угловое перемещение) преобразуется в форму, которая удобна для восприятия техническим средством [9].

Развитие современных технологий требует значительного увеличения точности при контроле положения объектов. Как показывает практика, для контроля положения целесообразно использовать бесконтактные оптические методы, обладающие высокой чувствительностью, точностью и скоростью измерений [10].

По принципиальным методам формирования кодирующих сигналов (рабочих мер), оптические преобразования подразделяются на растровые, интерференционные и дифракционные методы [11].

Растровые преобразователи представляют собой последовательность штрихов, которые нанесены на рабочую поверхность меры через определенный интервал. В таких кодирующих структурах длина штриха намного больше шага штриха и в результате перемещений анализирующей структуры относительно кодирующей структуры происходит смещение образующихся комбинационных полос. [9]

Дифракционные методы контроля пространственного положения объектов наиболее часто используют в измерительной технике, когда требуется высокая точность,

бесконтактность и автоматизация измерительного процесса. Они позволяют производить измерения размеров в диапазоне от единиц до сотен микрометров, с точностью до нескольких микрометров. Лазерное излучение позволяет получить высококонтрастную дифракционную картину с большим числом дифракционных порядков и избавиться от погрешностей, связанных с некогерентностью излучения. По интенсивности в ее характерных точках или расстоянию между ними судят о размерах, пространственном положении или физических свойствах объекта [12].

На данный момент в сфере контроля положения объектов широкое применение имеют интерференционные методы контроля. Данные методы используются для оценки геометрических параметров и их положения в пространстве.

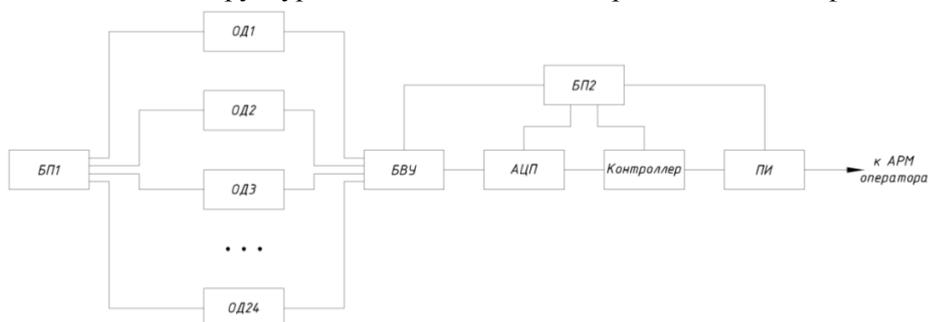
Недостатком современных интерферометров является сложность конструкции данных приборов и жесткие требования к условиям окружающей среды при проведении измерений.

В настоящее время активно развивается новое направление в оптических измерениях – низкокогерентная интерферометрия. При помощи данного метода можно контролировать положение объекта через модуль степени временной когерентности излучения, т.е. по максимальному значению чувствительного интерференционного сигнала. Чувствительность определяется длиной временной когерентности.

Эквивалентность процессов временного и пространственного усреднения хорошо просматривается, когда в результирующем интерференционном поле фотоприемником не разрешаются амплитудно-фазовые пространственные распределения [13].

Интерференционный способ контроля положения позволяет проводить измерения с высокой точностью. Также низкокогерентная интерферометрия по своим принципиальным диагностическим и измерительным характеристикам не уступает интерферометрам с использованием источников света с низкой степенью временной когерентности. Возможно применение таких интерферометров в целях определения и обнаружения положения отражающего объекта в рассеивающей среде.

На рисунке 2 показана структурная схема системы контроля положения факела.



**Рис. 2.** Структурная схема системы контроля положения факела, где БП1, БП2 – блоки питания; ОД1-ОД24 – оптические датчики; БВУ – блок входных усилителей; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПИ – преобразователь интерфейсов

Оптические датчики устанавливаются на стенках топочной камеры на 4 разных горизонтах, для того, чтобы определить точный угол смещения факела. На каждом горизонте устанавливается 6 оптических датчиков, размещенных по кругу. Датчики определяют положение факела по светимости и измеряют расстояние до факела. Показатели датчика сравниваются с показаниями такого же датчика, расположенного диаметрально противоположно. Так как датчики находятся на удаленном расстоянии от блока контроллера, требуется усиление сигнала, которое осуществляется в блоке входных усилителей. Далее сигнал преобразуется в цифровой вид и передается на контроллер. Сигнал обрабатывается в контроллере и передается на АРМ оператора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 г. Утверждена правительством РФ от 13 ноября 2009 г., № 1715 – 144 с.

2. Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Аскарлова А.С., Нагибин А.О. Горение пылеугольного факела в топке с плазменно-топливной системой// Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17. - №3. – С. 467-476.
3. Серант Ф.А. Состояние и перспективы развития угольной энергетики в России //Experiences and innovation sinenergy. – 2013. –Т1. – С. 243-251.
4. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Справочное пособие. – Красноярск: Издательство КГТУ, 2003. – 229 с.
5. Киселев Н.А. Котельные установки. М.: Высшая школа, 1979. – 270 с.
6. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 104 с.
7. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения. Справочное руководство. – Киев: Наукова Думка, 1965. – 303 с.
8. Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание. – М.: Высшая школа, 1990. – 239 с.
9. Коротаяев В.В., Прокофьев А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений. Учебное пособие. -СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 стр.
10. Иванов А.Н., Киреев В.Е., Носова М.Д. Дифракционные методы контроля пространственного положения объектов // Известия ВУЗов. Приборостроение. - 2013. - №11. – С. 77-85.
11. ГОСТ 26242-90. Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия / М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 13 с.
12. Иванов А.Н. Дифракционные методы контроля геометрических параметров объектов и их пространственного положения. // Вестник II межвузовской конференции молодых ученых. Сборник научных трудов. СПб. – 2012. - Т. 3. – С. 72-80.
13. Рябухо В.П., Хомутов В.Л., Лякин Д.В., Константинов К.В. Лазерный интерферометр с острофокусированными пучками для контроля пространственного положения объекта. // Письма в ЖТФ. – 1998. - №4. – С. 16-25.

**Сведения об авторе:**

**Жунисбеков Б.Ш.:** г. Томск, Национально-исследовательский Томский политехнический университет, магистрант; сфера научных интересов: исследования в области измерительных приборов и систем контроля в теплоэнергетике.