

МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО КОНТРАСТУ ЦВЕТОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЛАМЕНИ В ТОПКЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Ю.В. Патрахин, С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Рассмотрены вопросы контроля качества сжигания газозвоздушной смеси. Предложен и исследован метод контроля качества пламени по контрасту цветовых компонентов пламени.

Ключевые слова: экологический контроль качества газозвоздушной смеси, оптическая система, цветное изображение, цветовой контраст.

В научной статье [1] освещена перспектива использования цветной видеокамеры для контроля качества сжигания природного газа. Исследования горения газозвоздушной смеси (ГВС) в котельном агрегате «ХЕГ-ФОРС», выполненные с помощью видеокамеры SAMSUNG HMX-Q10BP и газоанализатора уходящих дымовых газов Testo 350, показали корреляцию между R,G,B-компонентами в цветном изображении пламени и параметрами дымовых газов: концентрацией угарного газа (CO), углекислого газа (CO₂), КПД газового котла, коэффициентом избытка воздуха (α) [2].

Цель настоящей работы – обобщить теоретические и экспериментальные результаты исследований и разработать метод контроля качества горения газозвоздушной смеси по контрасту цветовых компонентов пламени в топке котельного агрегата.

Известно, что существует зона оптимального и стабильного процесса горения, ограниченная значениями коэффициента α от 1,05 до 1,15 [3, 4], в пределах которой обеспечивается полнота сжигания и минимальность выбросов вредных веществ в атмосферу с продуктами горения. Следовательно, коэффициент избытка воздуха α является основополагающим фактором в определении качества ГВС, который положен в основу модели контроля качества горения ГВС по контрасту цветовых компонентов пламени в топке котельного агрегата.

Для определения качества ГВС были выделены режимы, которые позволяют наиболее полно охарактеризовать процесс горения ГВС.

Эталон нормы задан посередине всего диапазона изменения избытка воздуха, т.е. $\alpha = 1,10$. Эта точка равнозначна удалена от

предельных значений, характеризующихся такими негативными факторами как химический недожог в сторону уменьшения и проскок или отрыв пламени в сторону увеличения коэффициента избытка воздуха.

Для снижения инерционности системы и расширения диапазона нормы коэффициента α задано отклонение рассматриваемого коэффициента от эталона нормы в пределах $\pm 40\%$. Диапазон от $\alpha = 1,06$ до $\alpha = 1,14$ характеризует нормальный режим текущей подачи ГВС, не требующий вмешательства обслуживающего персонала в процесс работы котельного агрегата.

Значения α , выходящие за пределы нормы от $\pm 40\%$ до $\pm 60\%$, относятся к аварийным режимам «избыток воздуха» (от $\alpha = 1,14$ до $\alpha = 1,16$) и «недостаток воздуха» (от $\alpha = 1,04$ до $\alpha = 1,06$). Данные режимы характеризуют необходимость оперативного вмешательства в процесс горения для увеличения или уменьшения подачи воздуха, с целью недопущения возникновения аварийной ситуации.

Изменения значений коэффициента α от $\pm 60\%$ до $\pm 100\%$ определяются как аварийный режим по недостатку воздуха (от $\alpha = 1$ до $\alpha = 1,04$) и как аварийный режим по избытку воздуха (от $\alpha = 1,16$ до $\alpha = 1,2$). Работа в данных режимах не допускается и требует немедленной остановки котельного агрегата путём блокировки подачи газа в его топку.

Таким образом, предложенная классификация режимов горения позволяет охарактеризовать качество ГВС по текущему значению коэффициента α . Если связать коэффициент α с параметрами цветного изображения, то по его параметрам можно судить о качестве горения ГВС в реальном режиме времени.

МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО КонтРАСТУ ЦВЕТОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЛАМЕНИ В ТОПКЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Экспериментальные исследования проводились на действующем котельном агрегате «ХЕГФОРС». Изменения качества ГВС добивались путём плавного изменения положения регулировочной пластины газовой горелки, механически связанной с заслонкой подачи воздуха в топку котельного агрегата. Таким образом, производили изменение соотношения газ-воздух в сторону уменьшения или увеличения окислителя - воздуха, подаваемого для сжигания в топку котельного агрегата дутьевым вентилятором через автоматическую горелку. Изменение соотношения газ-воздух приводит к изменению коэффициента избытка воздуха и цвета пламени горения ГВС. Коэффициент избытка воздуха α определяли с помощью газоанализатора уходящих дымовых газов. Одновременно производили видеосъёмку горения ГВС. В результате получена 21 видеозапись цветных изображений пламени горения ГВС в соответствии с текущим коэффициентом избытка воздуха α (от 1,0 до 1,2).

Для проведения обработки цветных изображений из каждой видеозаписи выбирали в произвольном порядке по четыре кадра. В каждом из 84-х цветных изображений пламени горения ГВС выделяли по две зоны анализа с наиболее характерным изменением цвета (см. рисунок 1). Зона 1 – это зона, расположенная в центре, по контуру рассекателя горелки. Зона 2 – это зона, расположенная за контуром рассекателя горелки.

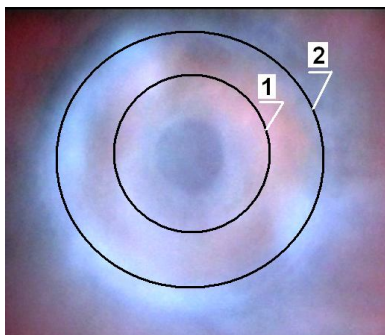


Рисунок 1 – Горелка с выделенными зонами анализа пламени горения газовой смеси

На рисунке 2 представлен график изменения R-, G-, B- сигналов в цветном изображении пламени в зависимости от изменения коэффициента избытка воздуха α в зоне 1, а на рисунке 3 аналогичные изменения в зоне 2.

Как видно из полученных графиков, по ним невозможно решить обратную задачу, т.е.

выполнить оценку коэффициента α по той причине, что каждая цветовая компонента неоднозначно отражает этот коэффициент. Например, красной компоненте, показанной на рисунке 3 (самый нижний график), при уровне 150 единиц АЦП соответствуют два значения коэффициента α : 1,03 и 1,16. Встает необходимость в принятии управляющего решения, которое заключается в изменении подачи воздуха. Однако совершенно неясно, что требуется выполнить: увеличить или уменьшить количество подаваемого воздуха. Ошибка может привести к взрыву котельного агрегата.

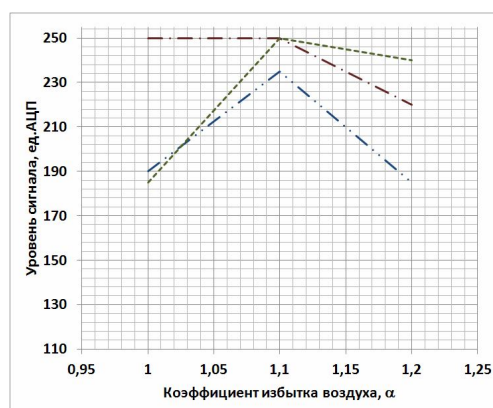


Рисунок 2 – Изменения R-, G-, B- сигналов от коэффициента α в зоне 1

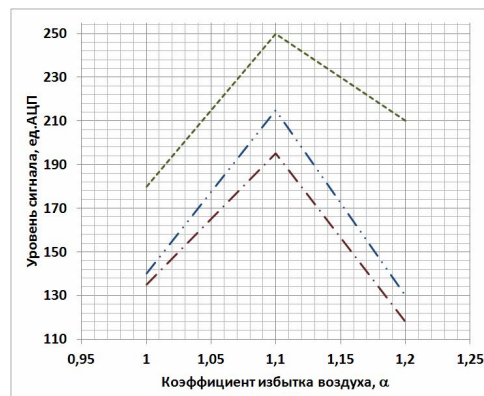


Рисунок 3 – Изменения R-, G-, B- сигналов от коэффициента α в зоне 2

Чтобы исключить эту неоднозначность были исследованы цветовые контрасты между различными компонентами для обеих зон по формулам:

$$\text{Контраст BR} = \frac{B - R}{B + R}$$

– контраст между синей и красной компонентами;

$$\text{КонтрастBG} = \frac{B - G}{B + G}$$

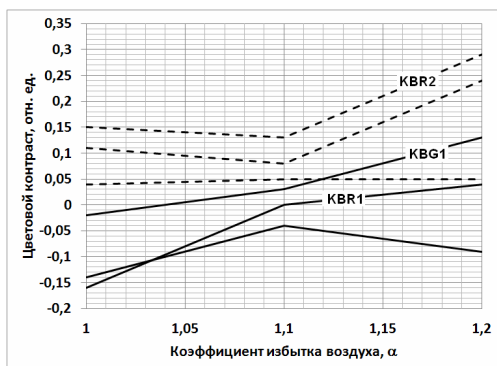
– контраст между синей и зеленой компонентами;

$$\text{КонтрастGR} = \frac{G - R}{G + R}$$

– контраст между зеленой и красной компонентами.

Результат вычислений, отражающий зависимость изменения значения контраста цветовых компонентов от текущего соотношения газ-воздух, представлен на рисунке 4.

Как видно из представленного графика неоднозначность сохраняется, но эта неоднозначность носит «разнонаправленный» характер. Графики первой и второй зон почти симметричны относительно уровня цветового контраста 0,05. Следовательно, суммируя определенные компоненты, можно добиться желаемой линейной зависимости суммарного контраста от коэффициента α .



Условные обозначения:
пунктирные линии – зона 2,
сплошные линии – зона 1

Рисунок 4 – Изменения цветовых контрастов от коэффициента α

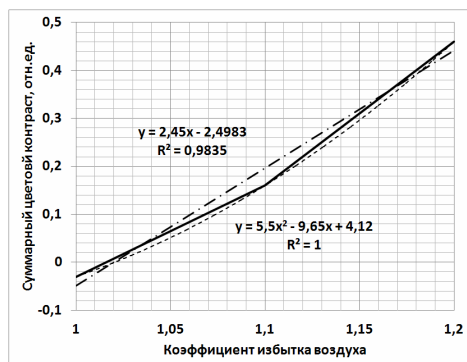


Рисунок 5 – График изменения суммарного контраста $K_{сумм}$ от коэффициента избытка воздуха α

В первой зоне выделены изменения интенсивности синего цвета к зеленому KBG1 и к красному KBR1. Во второй зоне – изменения синего цвета к красному KBR2. Формула для вычисления суммарного цветового контраста $K_{сумм}$ примет вид:

$$K_{сумм} = KBG1 + KBR1 + KBR2 \quad (1)$$

Вычисленные значения суммарного контраста представлены на рисунке 5.

На основании экспериментальных данных предложены и исследованы две модели изменения суммарного контраста от коэффициента избытка воздуха: линейная и квадратичная.

Линейная модель изображена на рисунке 5 штрихпунктирной линией. Уравнение линии тренда имеет вид:

$$K_{сумм} = 2,45\alpha - 2,5 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции R между экспериментальными данными равен 0,992.

Нелинейная (квадратичная) модель изменения суммарного контраста от коэффициента избытка воздуха α представлена на рисунке 5 пунктирной линией. Уравнение линии тренда имеет вид:

$$K_{сумм} = 5,5\alpha^2 - 9,65\alpha + 4,12 \quad (3)$$

Коэффициент корреляции R между экспериментальными данными равен 1.

Так как коэффициент корреляции нелинейной аппроксимации выше, чем линейной, то квадратичная аппроксимация наиболее приближена к экспериментальным точкам.

Однако, в области границ изменения коэффициента избытка воздуха α , для обеих аппроксимаций наблюдается погрешность в определении суммарного контраста $K_{сумм}$. Так, для линейной аппроксимации при $\alpha=1,05$ и $\alpha=1,15$ погрешность суммарного контраста относительно экспериментальных данных составляет $\Delta K_{сумм} = 0,02$, для квадратичной аппроксимации $\Delta K_{сумм} = 0,05$.

Таким образом, несмотря на то, что квадратичная аппроксимация точно проходит через три экспериментальные точки в диапазоне между $\alpha=1,0$ и $\alpha=1,2$ погрешность суммарного контраста в точках при $\alpha=1,04$ и $\alpha=1,16$ выше, чем у линейного графика.

В соответствии с ГОСТ [3] точки $\alpha=1,05$ и $\alpha=1,15$ являются критическими, за пределами которых эксплуатация котельного агрегата запрещена, в связи с чем, особый контроль необходимо устанавливать в этих точках. Следовательно, за основу метода контроля пламени горения берем линейную графоана-

МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО КОНТРАСТУ ЦВЕТОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЛАМЕНИ В ТОПКЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

литическую модель, как наиболее приемлемую и удовлетворяющую техническим условиям.

На основании математического выражения (1) можно вывести формулу расчета коэффициента избытка воздуха α от изменения суммарного цветового контраста $\Delta K_{сумм}$:

$$\alpha = \frac{K_{сумм} + 2,5}{2,45}. \quad (4)$$

По своей сути, эта формула представляет алгоритм метода контроля качества горения ГВС в топке котельного агрегата.

Для определения состояния качества горения ГВС по суммарному цветовому контрасту можно воспользоваться математическими формулами (1) и (2).

Эталон нормы $K_{сумм}=0,195$ соответствует значению коэффициента избытка воздуха $\alpha=1,1$. Значение $K_{сумм}$ в данной точке характеризует оптимальный режим горения ГВС и наиболее удалено от предельных значений, характеризующихся такими негативными факторами как химический недожог в сторону уменьшения и просок или отрыв пламени в сторону увеличения коэффициента избытка воздуха.

Значения суммарного контраста в диапазоне от $K_{сумм}=0,097$ до $K_{сумм}=0,293$ характеризуют нормальный режим текущей подачи ГВС, не требующий вмешательства обслуживающего персонала в процесс работы котельного агрегата.

Значения $K_{сумм}$, выходящие за пределы нормы от $\pm 40\%$ до $\pm 50\%$, относятся к предаварийным режимам «избыток воздуха» (от $K_{сумм}=0,293$ до $K_{сумм}=0,342$) и «недостаток воздуха» (от $K_{сумм}=0,048$ до

$K_{сумм}=0,097$). Данные режимы характеризуют необходимость оперативного вмешательства в процесс горения для увеличения или уменьшения подачи воздуха, с целью недопущения возникновения аварийной ситуации.

Изменения значений коэффициента α от $\pm 60\%$ до $\pm 100\%$ определяются как аварийный режим по недостатку воздуха (от $K_{сумм}=-0,05$ до $K_{сумм}=0,048$) и как аварийный режим по избытку воздуха (от $K_{сумм}=0,342$ до $K_{сумм}=0,44$). Работа котельного агрегата в данных режимах не допускается и требует его немедленной остановки путём блокировки подачи газа в топку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патрахин Ю.В. Перспективы применения цветной видеокамеры для контроля качества сжигания природного газа // Ползуновский Альманах. – 2010. - №2. - С. 93-95.
2. Е. А. Зрюмов, Ю. В. Патрахин, С. П. Пронин, А. А. Доренский. Исследование пламени сжигания углеводородов по R, G, B-составляющим его изображения // Ползуновский альманах. - 2007. - №3. - С. 8-10.
3. ГОСТ 21204-97. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования.
4. ПБ 12-529-03. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. - М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. - 200 с.

Патрахин Юрий Валерьевич – аспирант, тел.: (3852) 29-09-13, e-mail: Patrakhin08@mail.ru; **Пронин Сергей Петрович**, д.т.н., профессор; **Зрюмов Евгений Александрович** – к.т.н., доцент.