

СО-ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

CO-TECHNOLOGY OF FUEL COMBUSTION ON GAS-OIL BOILERS

В. И. Назаров^{1,2}

V. I. Nazarov^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
et@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Сжигание газомазутного топлива в котлах с регулирующим химнедожогом в балансовом сечении является перспективной энергосберегающей и экологической технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность (снижение выбросов оксидов азота 25–30 % и повышение КПД котла до 0,6 %). Данная технология легко реализуется на микропроцессорных регуляторах.

The combustion of gas and oil fuel in boilers with regulating chemical combustion in the balance section is a promising energy-saving and environmental technology that, with minimal capital investment, has high efficiency (reducing nitrogen oxide emissions by 25–30 % and increasing boiler efficiency to 0,6 %). This technology is easily implemented on microprocessor controllers.

Ключевые слова: котлоагрегаты, газомазутное топливо, регулируемый химнедожог, КПД котла, окислы азота, оксид углерода.

Keywords: boiler unit, gas and oil fuel, adjustable chemical burr, boiler efficiency, NO_x, CO.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-200-203>

СО-технология сжигания газомазутного топлива на промышленных и энергетических котлах является перспективной энергосберегающей и экономичной технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность. Данная технология позволяет добиться экологического эффекта (снижение выбросов оксидов азота на 25-30%) при повышении КПД котлоагрегата.

Сущность СО-технологии заключается в поддержании в режимном сечении котла химического недожога на уровне 150-200 ppm СО путем регулирования расхода общего воздуха, подаваемого в топку котла. Для этого на котлоагрегатах устанавливается автоматическая система регулирования расхода общего воздуха (АСР РОВ), но не со стандартной коррекцией по кислороду (O₂), а с коррекцией по химнедожогу, приведенного к оксиду углерода (СО).

Стандартная схема АСР РОВ имеет ряд недостатков. При появлении присосов, а также при нарушениях равномерной подачи воздуха и топлива критическое значение избыточного воздуха повышаются, в связи с этим изменяется оптимальное значение его избытка, что может привести к снижению КПД котлоагрегата. Так повышение присосов воздуха на 10 %, которые не участвуют в процессе сжигания топлива, приводят к повышению концентрации O₂ в режимном сечении на 2 % об и приводят к существенному снижению расхода воздуха в топку и, как следствие, к появлению значительного химического недожога топлива.

Химический недожог на газомазутных котлах появляется при избытке воздуха в топке $\alpha_t < \alpha_{кр}$. При чем оптимальный избыток воздуха в топке $\alpha_{опт}$ практически совпадает с $\alpha_{кр}$. Поэтому процесс регулирования подачи воздуха нужно вести с максимально возможным приближением к $\alpha_{кр}$ слева, то есть с определенной концентрацией оксида углерода в режимном сечении.

Данная технология, сжигания газомазутного топлива с регулируемым остаточным химическим недожогом в режимном сечении, позволяет добиться оптимального КПД котла с экологическим эффектом. В этом случае происходит снижение суммарной токсичности выбросов оксидов азота и оксида углерода (наиболее токсичным является оксид азота). На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость концентрации NO_x от концентрации СО в котле БКЗ-75-39 [1].

При поддержании в режимном сечении котла остаточного химнедожога (по СО=160 ppm) для котла БКЗ-75-39, снижение выбросов NO_x составило 35 %, а повышение КПД составила 0,6 % при $\alpha_t = 1,2$ [1].

Автоматическая система, регулирующая данную технологию, приведена на рис. 2.

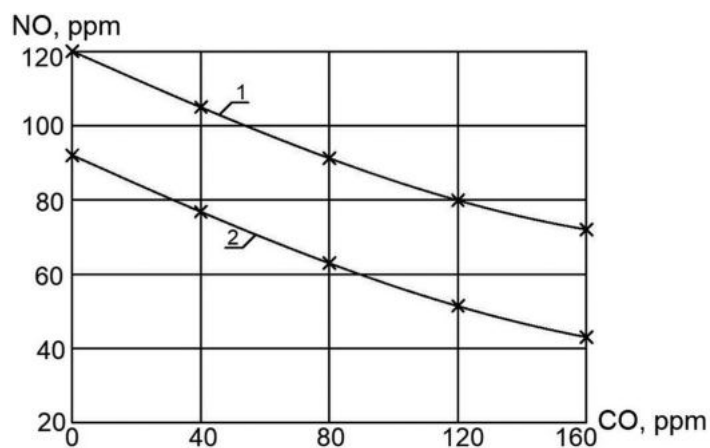


Рисунок 1 – Зависимость концентрации NOx от концентрации CO в котле БКЗ-75-39. 1 - $Dn = 76 \text{ м/ч}$; 2 - $Dn = 61 \text{ м/ч}$

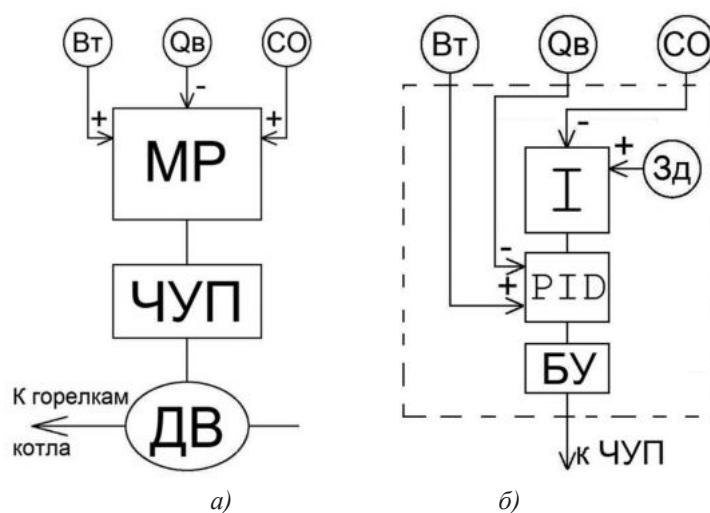


Рисунок 2 – АСУ РОВ с регулируемым химнедожогом, где
 а – структурная схема; б – функциональная блок-схема; V_m, Q_v, CO – сигналы по расходу топлива, воздуха и концентрации CO; МР – микропроцессорный регулятор; ЧУП – частотный управляемый привод; ДВ – дутьевой вентилятор; I – интегральный закон регулирования;
 PID – пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования; Зд – задатчик;
 БУ – блок управления, интегрированный в микропроцессорный регулятор

Для приведенной автоматической системы регулирования важным является выбор прибора газового анализа, который должен обладать высокой степенью чувствительности. Такое требование объясняется тем, что измеряемая концентрация оксида углерода при регулируемом недожоге в режимном сечении обычно лежит в пределах 50-200 ppm. Такой диапазон измерения объясняется различием в конструкции котлоагрегатов, особенно их горелочных аппаратов.

АСУ РОВ с регулируемым химнедожогом является двухконтурной каскадной системой регулирования, содержащей стабилизирующий регулятор (PID - пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования) и корректирующий регулятор (I - интегральный закон регулирования). Для стабилизирующего регулятора объектом регулирования является участок воздушного тракта от дутьевого вентилятора до места измерения расхода воздуха. Этот участок мало информативный: запаздывание 2...5с, а постоянная времени 10...15с.

Для корректирующего регулятора объектом регулирования является участок, включающий замкнутую АСУ стабилизации расхода воздуха и участок регулирования CO при возмущении расходом воздуха. Этот участок инерционный: запаздывание 15...25с, а постоянная времени 50...70с.

Для повышения точности поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении котла необходимо с приемлемой точностью измерять расход общего воздуха. Типовые средства измерения не подойдут для определения расхода воздуха. Среди существующих способов наиболее распространен способ измерения расхода воздуха по перепаду давлений воздухоподогревателя или его первой ступени, хотя при малых расходах воздуха перепад давлений становится соизмерим со значением пульсаций. Причем при измерении общего перепада давлений на воздухоподогревателе в нем не учитывается рециркуляция воздуха и отбор слабо подогретого воздуха.

При неудовлетворительных результатах измерения расхода воздуха по перепаду давлений на воздухоподогревателе необходимо использовать сигнал по давлению воздуха на выходе дутьевого вентилятора, хотя здесь тоже имеет место быть неточность измерений при перераспределении воздушных потоков при включении-отключении горелок. И в этом случае необходимо проводить экспериментальный выбор места установки отборных устройств.

Экспериментально было установлено, что приемлемую точность измерения расхода воздуха дает усовершенствование расходомера типа Анньюбар, которые должны устанавливаться на всю высоту воздухопровода. При этом мы имеем достаточный перепад давлений $\Delta P = P_{\text{п}} - P_{\text{с}}$, где $P_{\text{п}}$ – полное давление потока, $P_{\text{с}}$ – статическое давление потока.

Часто для определения концентрации оксида углерода в режимном сечении котла используются термохимические газоанализаторы, преимущество которых является погружное газоотборное устройство. С другой стороны, эти газоанализаторы имеют ряд дополнительных погрешностей, которые приводят к некорректным измерениям оксидов углерода. К этим погрешностям в первую очередь относятся [2]:

- погрешность измерения концентрации CO от температуры в зоне чувствительности элемента, таблица 2.

Таблица 2

$\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$	0,0095	0,0085	0,006	0,002
$t, ^\circ \text{C}$	100	150	200	250

- погрешность измерения концентрации CO от изменения коэффициента теплопроводности газовой смеси, таблица 3.

Таблица 3

$\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$	0,004	0,008	0,012	0,017
$\Delta \lambda \cdot 10^{-3}, \text{ в.л/мс}$	2	4	6	8

- погрешность измерения концентрации CO от угла разворота датчика при установке в газоходе котла, таблица 4.

Таблица 4

$\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$	0	0,065	0,06	0,005
$\varphi, ^\circ$	0 (базовая установка)	90	180	270

При монтаже и наладке системы регулирования с контролируемым химнедожогом необходимо учитывать следующее:

- наличие присосов воздуха непосредственно влияет на погрешность измерения оксида углерода, заборный зонд газоанализатора должен находиться от пристенной зоны на расстоянии не менее 1/3 диагонали режимного сечения котлоагрегата;

- для поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении на уровне 100-200 ppm необходимо осуществлять частотное регулирование производительности дутьевых вентиляторов. Применяемое в настоящее время регулирование расхода воздуха направляющими аппаратами не позволяет в полной мере реализовать преимущества АСР с контролируемым химнедожогом.

Необходимо отметить, что основной особенностью работы энергетических газомазутных котлов с малыми избытками воздуха является необходимость очень точного поддержания избытков воздуха не только по котлу в целом, но и по отдельным горелкам. Требования к равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам достаточно высоки, например, при сжигании мазута с избытками воздуха 2–3 % в конце топки отклонение избытка воздуха в отдельные горелки от среднего по горелкам не должно превышать $\pm 5 \%$, а для энергетических котлов большой мощности эти требования еще выше. Такие котлы должны эксплуатироваться с допустимыми отклонениями подачи мазута в каждую горелку $\pm 1 \%$ (от среднего значения), а расходов воздуха $\pm 3 \%$.

Способ достижения равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам существенно влияет на выбор системы автоматического регулирования в целом и системы погорелочного регулирования. То есть, система регулирования расхода общего воздуха с регулируемым химнедожогом должна быть двухступенчатой. При такой структуре верхний уровень системы регулирует общий расход воздуха на котел, а нижний уровень распределяет поступающий воздух равномерно по горелкам. Но такая структура регулирования становится статически не определенной (при заданном расходе общего воздуха, частота вращения дутьевых вентиляторов и положения индивидуальных заслонок горелок является произвольной). Чтобы избежать этого, необходимо подавать сигнал по оксиду углерода не только на основной регулятор, но и подавать его на индивидуальные регуляторы, обеспечивающие погорелочное регулирование.

В этом случае подача на общий регулятор и на индивидуальные регуляторы сигнала по оксиду углерода позволяет предотвратить срабатывание индивидуальных регуляторов в случае изменения концентрации оксида углерода (при правильной настройке отклонения сигнала по расходу воздуха к горелке, вызванное изменением расхода общего воздуха, должно компенсироваться отклонением корректирующего сигнала по оксиду углерода). Надо отметить, что для повышения эффективности системы регулирования необходимо, чтобы погорелочные регуляторы работали в режиме периодического кратковременного включения для корректировки положения воздушных шиберов горелок. Такая схема регулирования нечувствительна к пульсациям, связанным с неравномерным забиванием регенеративных воздухоподогревателей.

Если процесс горения происходит при достаточно малых избытках воздуха без образования химнедожога, регулирование подачи воздуха в топку осуществляется только регулятором общего воздуха, воздействующим на частотный управляемый привод дутьевых вентиляторов. При появлении оксида углерода в режимном сечении котла в работу включаются регуляторы, осуществляющие погорелочное регулирование. Это позволит поддерживать концентрацию оксида углерода на уровне 100–200 ppm.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, В.И. Определение экспериментальной зоны регулируемого химнедожога / В.И. Назаров, В.Т. Малафей // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 6. – С. 70–73.
2. Назаров, В.И. К вопросу погрешности измерения концентрации оксида углерода термохимическими сенсорами / В.И. Назаров // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – . – № 2. – С. 74–79.

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЛЕВИТАЦИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НЕСВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КАТУШКИ RESEARCH OF THE LEVITATION CONDITIONS OF A PERMANENT MAGNET IN A MAGNETIC FIELD OF A NON-SUPERCONDUCTING COIL

***В. С. Пожидаев, М. А. Лобосов, Ю. Г. Миханова
V. S. Pozhidaev, M. A. Lobosov, Yu. G. Mikhanova***

*Государственное учреждение образования «Гимназия №22 г. Минска», г. Минск, Республика Беларусь
«Gymnasium №22, Minsk», Minsk, The Republic of Belarus*

В настоящее время транспорт движется с максимально большой возможной скоростью, выделяя при этом вредные для атмосферы вещества. Нами был создан и исследован способ осуществления левитации постоянного магнита без использования сверхпроводника. Исследования показали возможность увеличения параметров установки до необходимых масштабов, температурную нестабильность представленной установки и оптимальное время работы до десяти минут.

Currently, transport is moving at maximum possible speed, emitting harmful substances into the atmosphere. We have created and researched a method of levitation of a permanent magnet without the use of a superconductor. Our research has shown the ability to enlarge our device to the required scale, thermal instability of the device and the optimal operating time of ten minutes.

Ключевые слова: левитация, сверхпроводимость, катушка индуктивности, стабилизация.

Keywords: levitation, superconductivity, inductance coil, stabilization.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-203-206>

Магнитное давление используется для компенсации ускорения свободного падения или любых других ускорений. Магнитная левитация используется в маглевах, магнитных подшипниках и показе продукции. В настоящее время транспорт движется с максимально большой доступной скоростью, выделяя при этом вредные для атмосферы вещества. Существующие материалы практически достигли пределов износостойкости. Поэтому современные ученые ищут пути улучшения данных параметров, повышения коэффициента полезного действия и уменьшения износа систем.

В литературе описаны исследования левитации в магнитном поле катушки, находящейся в сверхпроводящем состоянии. Посредством левитации в магнитном поле может быть достигнут минимальный износ материалов и, как следствие, больший срок службы изделий и уменьшение рисков для экологии.