

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 incomplete 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, regulating incomplete combustion, boiler efficiency, oxides of nitrogen, carbon oxide.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-29-32>

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 (O_2), 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 O_2 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 $CO=160$ 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.

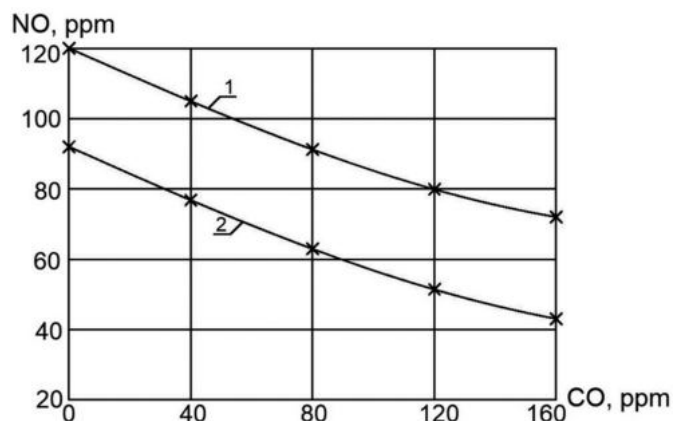


Рисунок 1 – Зависимость концентрации NO_x от концентрации CO в котле БКЗ-75-39. 1 – $D_n = 76$ т/ч; 2 – $D_n = 61$ т/ч

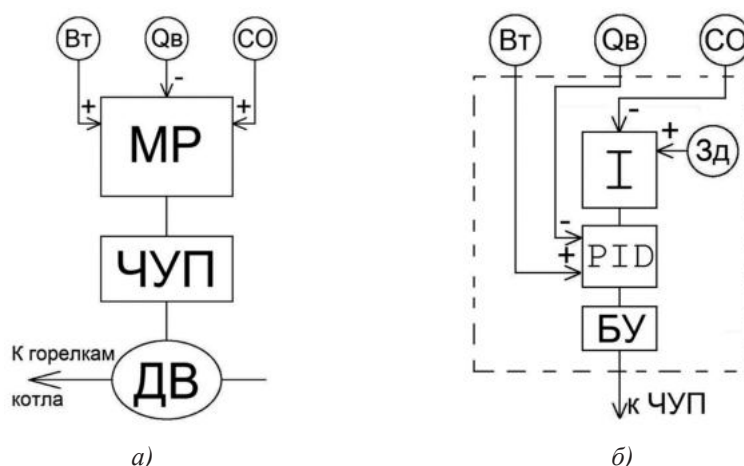


Рисунок 2 – АСР РОВ с регулируемым химнедожогом, где а – структурная схема; б – функциональная блок-схема; B_m , Q_v , CO – сигналы по расходу топлива, воздуха и концентрации CO ; МР – микропроцессорный регулятор; ЧУП – частотный управляемый привод; ДВ – дутьевой вентилятор; I – интегральный закон регулирования; 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.

АСР 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...5 с, а постоянная времени 10...15 с.

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

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 $\Delta P = P_n - P_c$, где P_n – полное давление потока, P_c – 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

ΔCO , % об	0,0095	0,0085	0,006	0,002
t, оС	100	150	200	250

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

Таблица 3

ΔCO , % об	0,004	0,008	0,012	0,017
$\Delta \lambda \cdot 10^{-3}$, Вт/мС	2	4	6	8

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

Таблица 4

ΔCO , % об	0	0,065	0,06	0,005
φ , °	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 ± 5 %, а для энергетических котлов большой мощности эти требования еще выше. Такие котлы должны эксплуатироваться с допустимыми отклонениями подачи мазута в каждую горелку ± 1 % (от среднего значения), а расходов воздуха ± 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.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ CHARACTERISTICS OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON AGRICULTURAL PRODUCTION

Д. Д. Ленковец^{1,2}, В. Д. Свирид^{1,2}
D. Lenkovets^{1,2}, V. Svirid^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь
dlenkovets132@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus

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

Климатические факторы – одни из ключевых причин влияния на производство продукции сельского хозяйства. Они оказывают прямое воздействие на условие развития растений и их урожайность. С каждым годом все больше и больше аграриев сталкиваются с засухой на полях, уменьшением влаги в почве и рядом других причин, которые влияют на урожайность. Изучение влияния климатических факторов на продуктивность сельского хозяйства является актуальной задачей современной аграрной науки. Задача сельского хозяйства – обеспечить население продовольствием, сырьем для ряда отраслей промышленности и экспорт сельскохозяйственной продукции. В результате проведенных исследований показана положительная корреляция между погодными условиями благоприятными для вегетации зерновых сельскохозяйственных культур и их урожайностью [1].

Climatic factors are one of the key reasons for the impact on the production of agricultural products. They have a direct impact on the condition of plant development and their yield. Every year more and more farmers face drought in the fields, a decrease in soil moisture and a number of other reasons that affect yields. The study of the influence of climatic factors on agricultural productivity is an urgent task of modern agricultural science. The task of agriculture is to provide the population with food, raw materials for a number of industries and the export of agricultural products. As a result of the conducted research, a positive correlation was shown between weather conditions favorable for the vegetation of grain crops and their yield.

Ключевые слова: климатические факторы, удобрения, урожайность, последствия.

Keywords: climatic factors, fertilizers, yields, consequences.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-32-35>

Последствия изменения климата оказывают существенное влияние на сельское хозяйство, которое в значительной степени зависит от погодных и климатических условий, и, соответственно, на продовольственную безопасность