

УДК 504. 621.18:622.48

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТИПОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ КОТЛОАГРЕГАТЕ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

*И. В. Шаповал, аспирант
(Институт телекоммуникаций и глобального
информационного пространства НАН Украины)*

Рассмотрены вопросы повышения эффективности сжигания газового топлива на промышленных котлоагрегатах. Проведено сравнение эффективности управления процессом сжигания топлива стандартной системой «топливо–воздух» с системой, основанной на параллельному включению САР расхода топлива и воздуха. Под эффективностью управления подразумевается оценка объема вредных выбросов.

Розглянуті питання підвищення ефективності спалювання газового палива на промислових котлоагрегатах. Проведено порівняння ефективності управління процесом спалювання палива стандартною системою «паливо–повітря» з системою, що заснована на паралельному підключенні САР витрати палива і повітря. Під ефективністю управління розуміється оцінка об'єму шкідливих викидів.

The problems of increasing the efficiency of gas fuel burning in energy plants are considered. The efficiency of two fuel burning systems are compared, of the standard system «fuel-air» and system, based on the parallel including of the systems of automatic control of expense of fuel and air. Under efficiency of management the estimation of volume of pollutant emissions is implied.

Вступление. Предприятия энергетики относятся к основным загрязнителям воздушного бассейна. На их долю приходится свыше 30% выбросов вредных веществ от общего объёма выбросов стационарными источниками, в том числе 59% окислов серы, 27% золы, 12% окислов азота.

Объёмы загрязнения окружающей среды и вид загрязнения зависят от типа и мощности станции. Результатом работы тепловых станций, использующих природный газ, является загрязнение атмосферы углекислотой, выделяющейся при сжигании топлива, окисью углерода, углеводородами, окислами азота и другими вредными веществами.

Природный газ, не содержащий золы, соединений серы и азота, является экологически наиболее чистым топливом, но согласно [1], на каждую выработанную Гкал на промышленных котлах и печах выбрасывается в атмосферу порядка 31,2 г твердых частиц, для котлоагрегатов обслуживающих жилые здания это составляет порядка 33 г. Удельная доля оксида углерода на 1 Гкал выработанного тепла составляет 20—70 г при нормальных условиях и коэффициенте избытка воздуха 1.

На сегодня на территории Украины работает порядка 700 000 котлоагрегатов малой и средней мощности. Введены в эксплуатацию данные котлоагрегаты были в 60—70 года и на сегодня являются устаревшими как морально, так и физически, что является одной из причин повышения уровня вредных выбросов в атмосферу.

Основной причиной появления вредных выбросов на котлоагрегатах использующих природный газ является нарушение оптимального соотношения топливо-воздух. Указанное нарушение вызвано несовершенством системы управления указанным соотношением [2].

Постановка задачи. Анализ эксплуатируемой системы управления процессом сжигания топлива с целью выявления ее недостатков. Оценка уровня повышения выбросов CO и CO_2 промышленными котлоагрегатом в атмосферу вызванную несовершенством стандартной системы управления.

Анализ системы управления промышленным котлоагрегатом. Анализ объекта управления выполним на примере котла ДКВР-10/13. Система управления процессом сжигания топлива содержит два контура регулирования [3]. Первый контур регулирования предназначен для управления расходом топлива, второй для управления расходом воздуха, работа последнего и влияет на соотношение топливо-воздух. На рис. 1 изображена схема управления расходом воздуха.

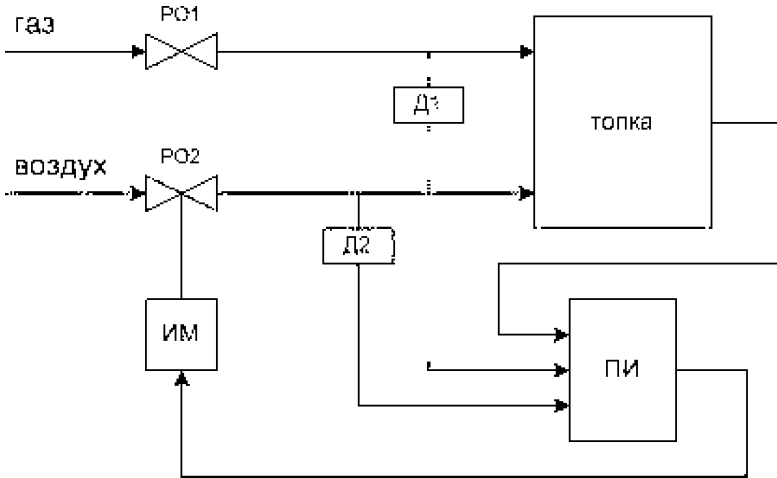


Рис. 1. Схема управления расходом воздуха

где: РО1, РО2 — регулирующие органы расхода газа и воздуха, соответственно; ИМ — исполнительный механизм, изменяющий положение регулирующего органа; Д1, Д2 — датчик расхода газа и воздуха, соответственно; ПИ — регулятор расхода воздуха, реализующий ПИ — закон регулирования, который описывается следующим уравнением

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_{и}} \int_0^t \varepsilon dt ,$$

где k_p — коэффициент пропорциональности; ε — сигнал рассогласования; $T_{и}$ — постоянная, времени интегрирования.

Расход топлива измеряется датчиком расхода Д1 и соответствующий сигнал подается на задающий вход регулятора расхода воздуха, на второй вход которого поступает сигнал расхода воздуха, схема сравнения вычисляет сигнал рассогласования и в соответствии с режимной картой управляет расходом воздуха. Режимная карта снимается пуско-наладочными службами во время испытаний котлоагрегата, и представляет собой некоторое усредненное значение соотношения топливо-воздух, которое принимается как оптимальное соотношение. Также система автоматическо-

го регулювання (САР) расхода воздуха содержит корректирующий контур, который, например, по содержанию кислорода в уходящих газах корректирует расход воздуха.

Одним из недостатков рассмотренной системы управления расходом воздуха является принцип работы по отклонению. Сигнал на изменение расхода воздуха поступает с задержкой, которая не может быть меньше суммарной времени измерения расхода топлива, времени работы регулятора и исполнительного органа. Упомянутая задержка приводит к тому, что во время регулирующего режима расход воздуха не соответствует расходу топлива, а это в свою очередь увеличивает количество несгоревшего топлива.

Согласно структурной схеме изображенной на рис.1 была составлена математическая модель системы управления. Передаточная характеристика регулятора вместе с исполнительным механизмом постоянной скорости, реализуют ПИ — закон управления с демпфированием [3]. Передаточная характеристика топки аппроксимируется последовательным соединением аperiодического звена и звена чистого запаздывания, что описывается следующим уравнением

$$W_{\varrho}(p) = \frac{K \cdot e^{-\tau p}}{1 + T_T p},$$

где K — коэффициент пропорциональности, τ — время чистого запаздывания, T_T — постоянная времени топки.

Содержание кислорода в уходящих газах определяется коэффициентом избытка воздуха α [4], по следующему уравнению

$$O_2 = 21 \cdot (\alpha - 1) / \alpha, \quad (1)$$

Согласно экспериментальным данным [5], содержание CO_2 находится во взаимосвязи с содержанием O_2 в уходящих газах. Так при содержании кислорода в уходящих газах 10,3%; 6,7% и 3,2% содержание углекислого газа 6%; 8% и 10%, соответственно. Выполнив линейную интерполяцию получим математическую модель вычисления содержания CO_2 на основании измеренного содержания кислорода в уходящих газах.

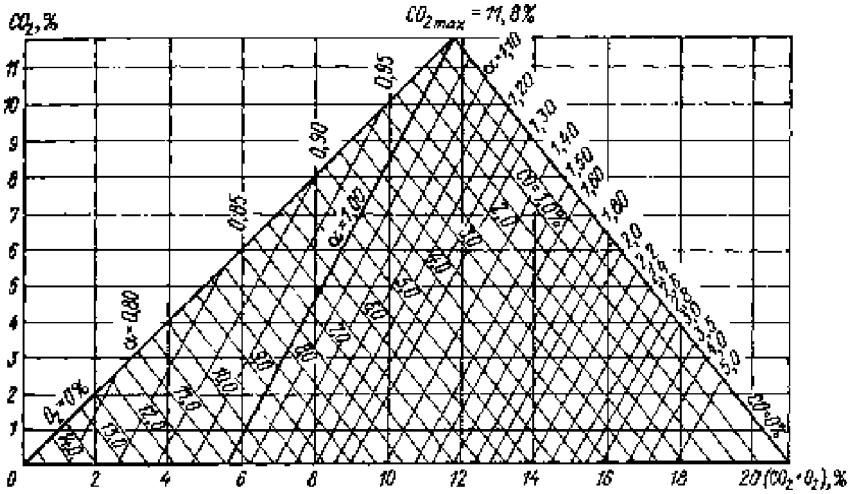


Рис. 2. Номограмма простого анализа продуктов сгорания природного газа

На основании содержания CO_2 и O_2 по номограмме [6] (рис. 2) составим модель вычисления содержания CO .

Таким образом, на основании расхода топлива, воздуха, теплоты сгорания топлива, предварительно полученной зависимости присосов воздуха от нагрузки и с помощью построенной модели можно оценить изменение уровня выбросов CO и CO_2 вызванных недостатками системы управления процессом сжигания топлива.

Моделирование работы системы регулирования расхода воздуха.

Пуско-наладочные испытания проводят для установившегося режима. В процессе эксплуатации котлоагрегат же работает в регулирующем режиме.

Задача моделирования — исследование работы системы управления соотношением топливо-воздух во время регулирующего режима работы и оценка выбросов окиси и двуокиси углерода.

В качестве возмущающего сигнала принят сигнал изменения расхода топлива на 10% от номинального значения. Как показали результаты моделирования время задержки регулирования расхода воздуха составляет 4—5 с. Указанная временная задержка приводит к провалу соотношения топливо—воздух, рис. 3.

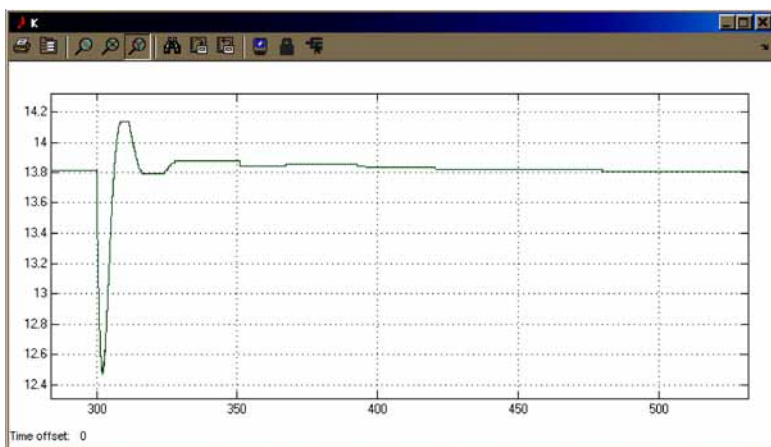


Рис.3. Изменение соотношения топливо-воздух во время регулирующего режима стандартной системы управления.

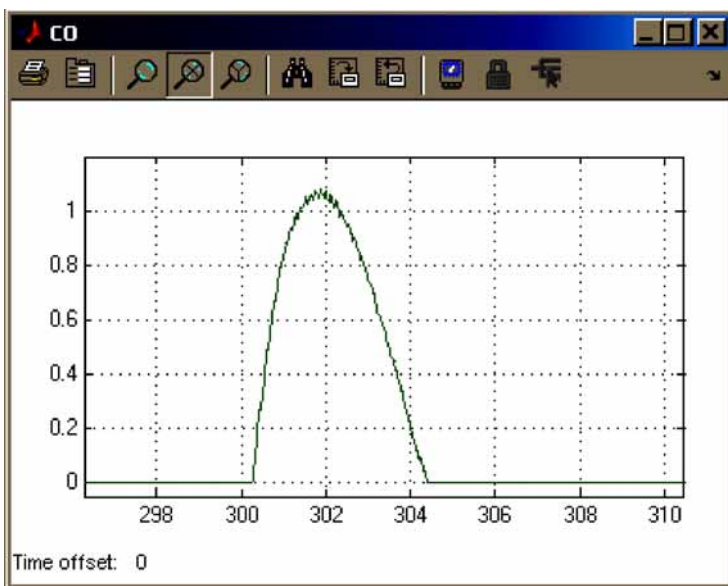


Рис. 4. Появление CO в уходящих газах.

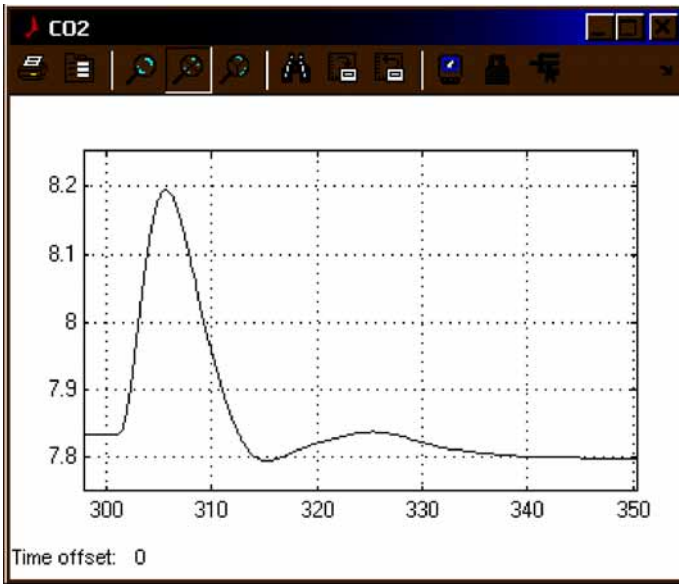


Рис. 5. Изменение содержания CO_2

Нарушение указанного соотношения приведет к появлению CO и CO_2 в уходящих дымовых газах. Что хорошо видно на рис. 4 иллюстрирующем появление угарного газа и рис. 5 показывающем изменение содержания двуокиси углерода в уходящих газах во время регулирующего режима. Количество выбросов окиси и двуокиси углерода зависит от того на сколько часто изменяется нагрузка котлоагрегата.

Как показывают результаты моделирования, используемая стандартная схема управления соотношения топливо-воздух имеет недостаток, проявляющийся в появлении угарного газа во время регулирующего режима. Причина указанного недостатка кроется в последовательном включении систем автоматического регулирования расходом топлива и воздуха и построении системы управления по отклонению.

Для устранения указанного недостатка необходимо обеспечить оптимальное соотношение топливо—воздух в течении всего времени работы котлоагрегата. Для этого следует включить парал-

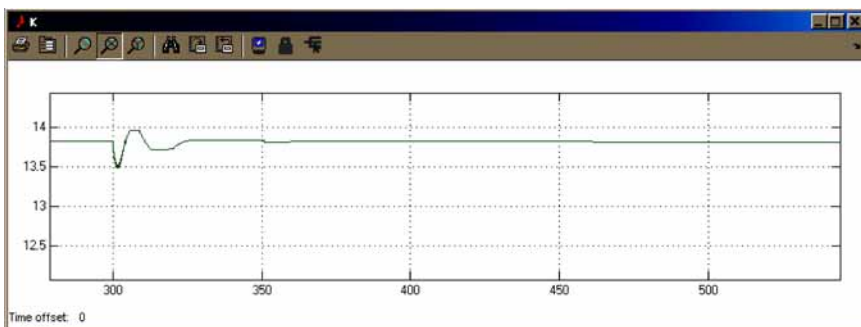


Рис. 6. *Изменение соотношения топливо-воздух во время регулирующего режима работы предлагаемой системы управления.*

лельно САР расхода топлива и воздуха и обеспечить одинаковую относительную скорость исполнительных механизмов САР расхода топлива и воздуха. Для сравнения качества работы стандартной системы управления с разрабатываемой было проведено моделирование с использованием возмущающих сигналов аналогичных сигналам используемым при имитационном моделировании стандартной системы управления соотношением топливо-воздух. Результаты моделирования изменения соотношения топливо-воздух для системы с параллельным включением САР расхода топлива и воздуха изображены на рис 6.

Как видно из рис. 6 провал соотношения топливо-воздух при параллельном включении регуляторов существенно меньше, что должно привести к снижению выбросов CO и CO_2 в атмосферу. Моделирование подтвердило предположение, что параллельное включение САР расхода топлива и воздуха снижает выбросы выбросов CO и CO_2 в атмосферу (рис. 7 и рис. 8).

Использование системы управления котлоагрегатом с параллельным включением САР расхода топлива и воздуха снижает выбросы CO и CO_2 в атмосферу. Значение снижения выбросов при использовании предложенной системы управления зависит от режима работы котлоагрегата и будет особо эффективно для котлоагрегатов работающих на быстро меняющуюся нагрузку.

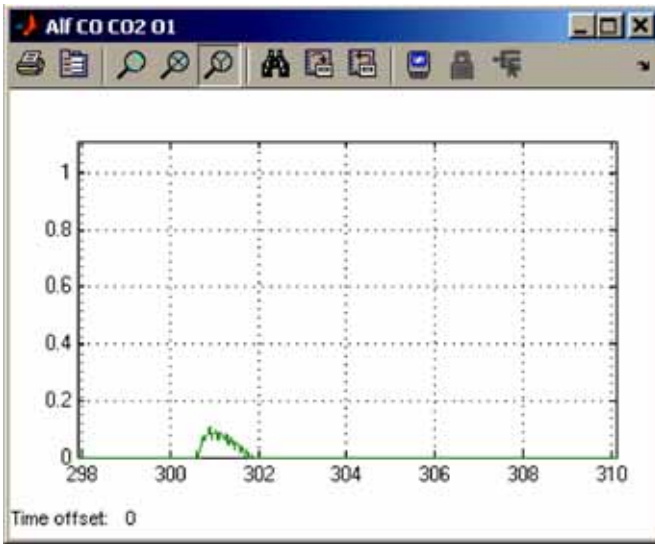


Рис. 7. Появление CO в уходящих газах.

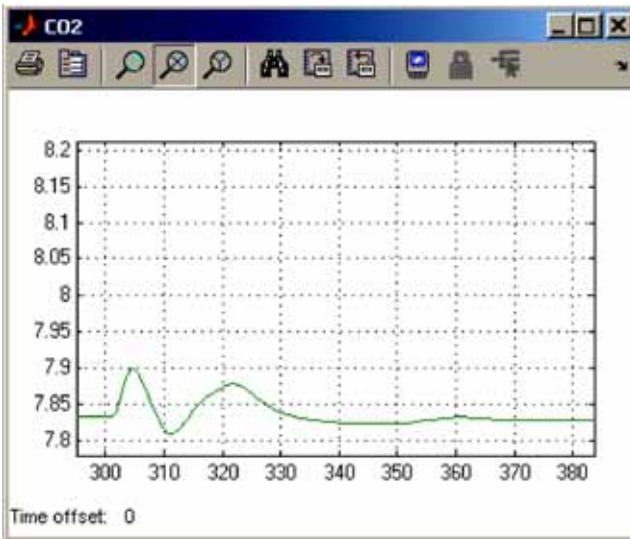


Рис. 8. Изменение содержания CO₂

Выводы

Построена модель вычисления содержания окиси и двуокиси углерода в уходящих газах. На основании построенной модели проанализирована работа стандартной системы управления соотношением топливо-воздух во время регулирующего режима работы.

Недостатком стандартной системы управления соотношением топливо-воздух является последовательное включение регуляторов расхода топлива и воздуха, что приводит к увеличению выбросов угарного газа в атмосферу во время регулирования нагрузки котлоагрегата.

Для устранения указанного недостатка необходимо включать САР расхода топлива и воздуха параллельно.

Направлением дальнейших работ будет экспериментальное исследование выявленных недостатков и путей их устранения.

* * *

1. Дубанин В. Ю. Влияние коэффициента избытка воздуха и нагрузки котельных установок на их экономичность при сжигании различных видов топлива / В. Ю. Дубанин, В. И. Воскових // Вестн. Воронежского гос. тех. ун-та. — 2002. — № 2. — С. 123—127.

2. Беликов С. Е. Комплексная разработка методов снижения выбросов оксидов азота от ТЭС путем оптимизации процесса горения и способов сжигания топлива: дис. ... доктора технических наук: 05.14.14 / Беликов Сергей Евгеньевич. — М. 2006. — 232 с.

3. Ключева А. С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: учебн. пособ. [для студ. высш. учеб. завед.] / А. С. Ключева — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 108 с.

4. Тремболва В. И. Теплотехнические испытания котельных установок / В. И. Тремболва, Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева. — М.: Энергоатомиздат. — 1991. — 252 с.

5. Теоретические основы сжигания различных видов газов: (краткий курс, Основы сжигания и планирования) [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании weishaupt — режим доступа: <http://www.weishaupt.ru/course/>

6. Коэффициент избытка воздуха при сжигании газообразного и жидкого топлива: (Номограмма простого анализа продуктов сгорания природного газа) [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании ЭнергоЭксперт — режим доступа: <http://www.energoekspert.ru>

Отримано: 15.09.2009 р.