

В. Ю. Кучерук, д. т. н.; проф.; И. А. Дудатьев

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ С КОНТРОЛЕМ СОСТАВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ОПТИКО-АБСОРБЦИОННОГО ИНФРАКРАСНОГО МЕТОДА

В работе на основе системы управления котельной установкой разработана функциональная схема подсистемы контроля состава дымовых газов с помощью оптико-абсорбционного инфракрасного метода с компенсацией влияния атмосферной пыли и избыточной влажности. Система автоматического управления обеспечивает высокую энергоресурсоэффективность работы котельной установки.

Ключевые слова: котельная установка, оптико-абсорбционный инфракрасный метод, система контроля, дымовой газ, частотный регулятор, измерительный преобразователь, контроллер, алгоритм.

Вступление

Промышленность – основной потребитель топлива, большая часть которого сжигается в котельных установках (КУ). Проблема рационального использования энергоресурсов в Украине связана с надежной и экономической работой этих установок. КПД котлов чаще всего не достигает максимально возможных значений. Главные причины – низкое качество технического обслуживания и ремонта, медленное внедрение организационно-технических мер, которые обеспечивают снижение расходов топлива на выработку теплоэнергии.

Эффективность работы котельных установок прямо зависит от наличия достоверной информации о ходе технологических процессов. Отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры, такой как газоанализатор, может повлечь неэффективную работу установки, в частности некачественное сгорание топлива. Определение состава продуктов сгорания дает возможность оценить: степень завершенности процесса сгорания топлива (потерь от химической неполноты горения), условия сгорания топлива (коэффициент излишка воздуха), характер сгорания топлива в отдельных зонах котла (наличие локальных низкотемпературных зон), динамику процесса горения, соблюдения предельно допустимых норм концентраций выброшенных в атмосферу вредных веществ [1].

Целью работы является повышение достоверности контроля состава дымовых газов котельных установок для достижения оптимального режима горения в топке котлоагрегата.

Основная часть

В существующих системах автоматического управления котельной установкой регуляции соотношения "топливо – воздух" осуществляется по таким параметрам: давление (расход) топлива и давление воздуха на горелках без корректировки по составу отходящих газов. Количество воздуха определяется значением разжижения в топке котла. Регуляция этих параметров осуществляется с помощью задвижек, то есть увеличением аэродинамического сопротивления газозвоздушного тракта при работе двигателей вентилятора и дымососа на полную мощность. Это приводит к перерасходам электроэнергии.

Использование частотных регуляторов (ЧР) позволяет решать задачу согласования режимных параметров и энергопотребления КУ с изменяемым характером нагрузки котлов. Актуальность проблемы экономии энергии привела к тому, что ЧР играет важную роль в энергетическом балансе, а динамика соотношения стоимости ЧР и тарифы на электроэнергию расширяют экономический предел их приложения. Использование ЧР для

КУ позволяет выдержать нужное соотношение "топливо – воздух" с высокой точностью и автоматизировать разжигание горелки, сократив время до минимально необходимого, при этом уменьшаются также расходы газа и выбросы двуокиси углерода в атмосферу.

Для поддержки оптимального соотношения "топливо – воздух", с одной стороны, нужно в зависимости от количества горючего, которое поступает, подать необходимое количество воздуха в топку котла, с другой стороны – с заданной интенсивностью удалять из нее продукты сгорания [4]. Данная регуляция с высокой точностью осуществляется с помощью системы автоматического управления КУ (с контролем содержимого кислорода в исходных газах). Функциональная схема системы регуляции приводами переменной скорости представлена на рис. 1.

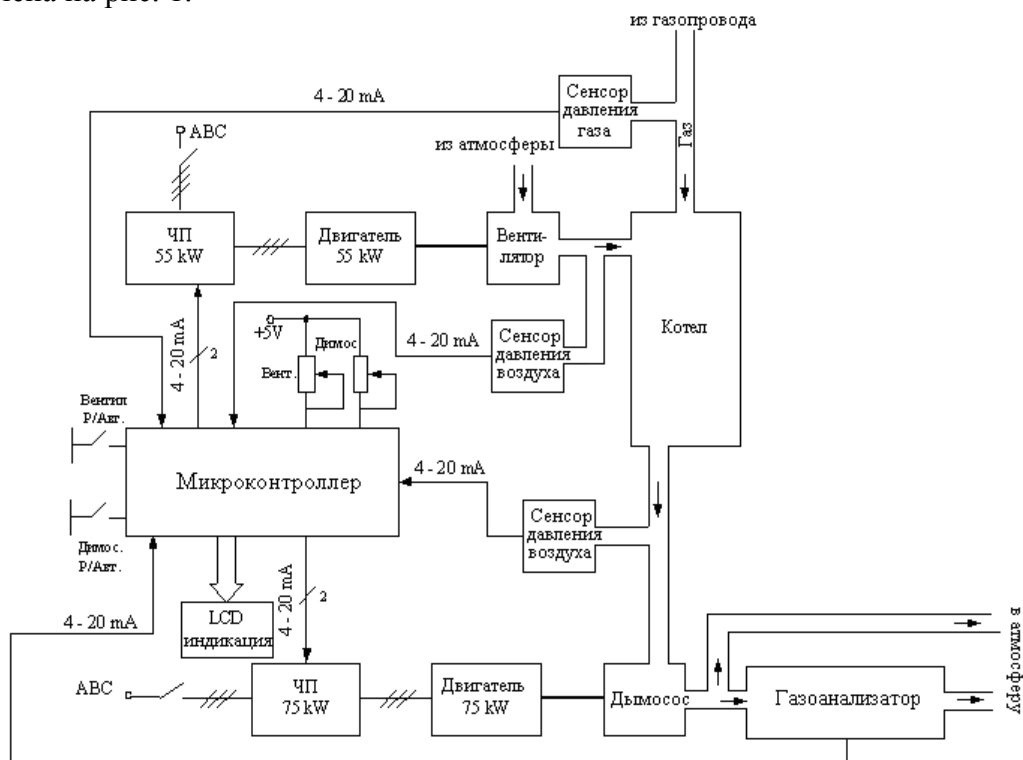


Рис. 1. Функциональная схема системы управления КУ с контролем состава дымовых газов

Контроль продуктов сгорания котельных установок предлагаем вести с помощью газоаналитической системы на основе оптико-абсорбционного инфракрасного (ОАИК) метода. Физический принцип действия такой системы заключается в том, что измеряется поглощение оптического излучения газа, который исследуется на том участке спектра, где он имеет интенсивную полосу поглощения, которое не совпадает с полосами поглощения других газов, которые могут находиться в анализируемой газовой смеси.

Физическое представление поглощения заключается в том, что при прохождении оптического излучения через газовую кювету молекулы, газа, поглощая кванты излучения, соответствующие определенным частотам, возбуждаются, то есть увеличивают запас своей энергии. Если поглощается ультрафиолетовое и видимое излучение или излучение коротковолновой части инфракрасного спектра, то повышается запас энергии электронов, энергии, соответствующей колебанию ядер атомов, и энергии вращения молекулы вокруг центра тяжести. Если поглощаются кванты, которые соответствуют более длинноволновой области спектра оптического излучения (от нескольких микрометров до сотен микрометров), то возбуждаются колебательно-вращательные и, соответственно, чисто вращательные степени свободы. В результате этого процесса спектры поглощения молекул состоят из ряда полос, которые имеют сложную структуру. В зависимости от природы дымового газа инфракрасные спектры поглощения молекул газовой смеси имеют

индивидуальный характер, который в дальнейшем позволяет идентифицировать конкретный газ. На рис. 2 показан инфракрасный (ИК) спектр поглощения дымовых газов котельных установок (хорошо видно полосы колебательно-вращательного спектра поглощения дымового газа) [2].

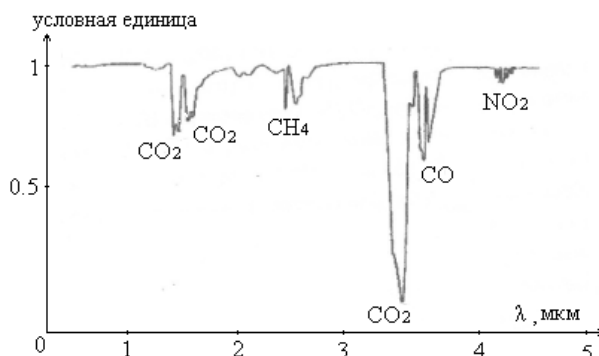


Рис. 2. Колебательно-вращательные полосы поглощения дымового газа ИК излучением

Как видно из рис. 2, в ИК диапазоне спектра есть специфические особенности регистрации поглощения газа, который анализируется благодаря наличию колебательно-вращательных полос поглощения. Величина потока излучения, который прошел через измерительную кювету с газом, который анализируется, может быть определена по закону Ламберта – Бэра:

$$I_{\text{вых}} = a \cdot [1 - \exp(-b \cdot \varphi)], \quad (1)$$

где $I_{\text{вых}}$ – выходной электрический сигнал (ток), a , b – постоянные, φ – массовая концентрация компонента.

Вид зависимости, которая отображает функцию (1) для постоянной длины оптического тракта ($l = \text{const}$), представлена на рис. 3.

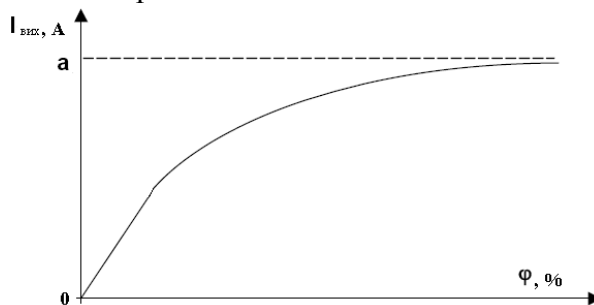


Рис. 3. Графическое представление функции (1)

Инфракрасную радиацию поглощают все газы, за исключением O_2 , N_2 , H_2O , Cl_2 и одноатомных газов. Спектр поглощения одноатомных газов или паров металлов отличается от инфракрасных спектров поглощения молекул своей относительной простотой и состоит не из полос, а из отдельных линий, во многих случаях расположенных только в ультрафиолетовой области спектра.

Перед применением ОАИК метода предлагаем стабилизировать газ по таким параметрам: температура, влажность, давление, пыльность (очистка пробы газа от атмосферной пыли). Если применять ОАИК метод без стабилизации данных параметров, то это приведет к тому, что идентификация и определение концентрации компонентов газовой смеси будет неточной. В структуре дымового газа можно выделить такие основные компоненты: кислород, диоксид углерода, оксид углерода, диоксид азота, вода (пар) и атмосферная пыль (после стабилизации пробы газа содержанием воды и атмосферной пыли можно пренебречь). Общее содержимое этих газов и компонентов представляет 99,9%. Остальные компоненты дымовых газов есть на уровне микроконцентраций и практически не влияют на

определение потерь тепла. То есть можно воспользоваться выражением (до стабилизации пробы газа):

$$\mu(O_2) + \mu(NO_2) + \mu(CO_2) + \mu(CO) + \mu(H_2O) + \text{сажа} = 100\% \quad (2)$$

где μ_x – массовая концентрация газовой смеси в процентах.

Оптимизацию процесса сжигания предлагается вести по компоненту – O_2 . Это дает возможность максимально точно корректировать соотношение топливо – воздух на входе объекта [5]. Но физически кислород не поглощается ИК излучением (это видно из рис. 2, где линий поглощения кислорода вообще нет), поэтому предлагается определять CO , CO_2 , NO_2 практически, а O_2 – аналитически (после стабилизации пробы):

$$\mu(O_2) = 100\% - [\mu(NO_2) + \mu(CO_2) + \mu(CO)]. \quad (3)$$

Структура состава дымовых газов котельных установок [3] представленная на рис. 4 в виде зависимости коэффициента избытка воздуха (КИВ) от концентрации дымовых газов котельных установок.

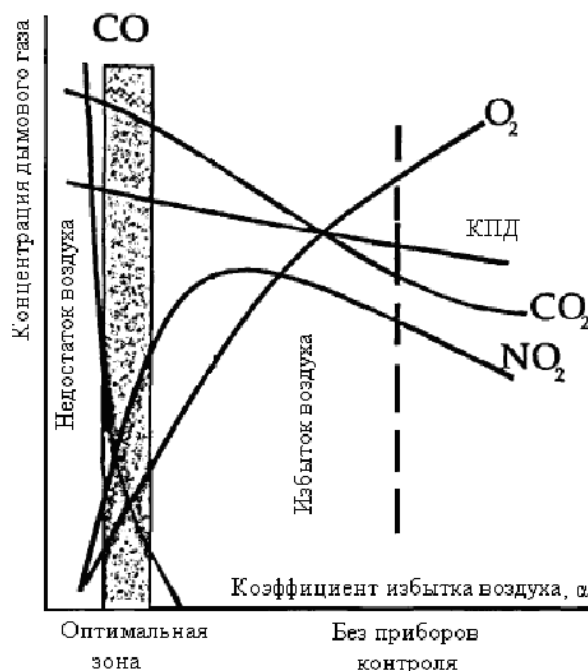


Рис. 4. Структура состава дымовых газов котельных установок

Оптимальная зона – это такая концентрация компонентов, при которой обеспечивается сжигание топлива с низким КИВ. В работе [9] для котла ДЕ-25-14 ГМ был установлен оптимальный КИВ, который равняется 1,25 (± 0.01). Увеличение оптимального КИВ приводит к повышению значения концентрации оксидов азота. При условии снижения оптимального КИВ увеличивается концентрация оксидов углерода и, как следствие, увеличиваются потери с химической неполнотой сгорания. Главным параметром, который определяет корректирующее действие на величину избытка воздуха, является содержащее остаточного кислорода в дымовых газах. Недостаточное количество воздуха вызывает неполное сгорание продуктов в топке котла – и, как следствие, приводит к перерасходам топлива. Излишек воздуха также приводит к перерасходам топлива на нагрев лишнего воздуха в составе отходных дымовых газов [4].

Разработка функциональной схемы системы. Газоаналитическую систему (ГС) построим по принципу прямого действия – это система, в которой все превращения имеют одно направление: от входа к выходу. Систему построим по структурной схеме, которая имеет такие функциональные узлы: блок стабилизации входных параметров, измерительный преобразователь, устройство обработки информации, устройство отображения информации.

Блок стабилизации входных параметров (БСВП). Проба, которую забирают для анализа газовой смеси непосредственно из дымовой трубы, имеет большую "разбросанность" параметров, а именно: температуры, влажности, давления, пыльности. Если подавать дымовой газ с нестабилизированными параметрами непосредственно на измерительный преобразователь, это приведет к получению на выходе информации о составе дымового газа с большой погрешностью. Поэтому в структуру ГС предлагается включать БСВП. БСВП должен соответствовать таким требованиям: высокое быстродействие, эффективная и надежная очистка от механических примесей, уменьшение к необходимому значению влажности смеси, стабилизация температуры и давления.

На следующем этапе проба газа проходит через первичный и вторичный измерительные преобразователи (ПИП и ВИП). Принцип работы ПИП и ВИП заключается в следующем: ИК излучение от источника поступает в две, расположенные рядом и параллельные друг другу, кюветы – рабочая и сравнительная. Через рабочую кювету прокачивается газ, который анализируется, а сравнительная кювета содержит воздух, свободный от этого газа. Таким образом образуется канал сравнения. Дальше пучки оптического излучения поддаются модуляции в противофазе друг к другу с помощью обтюлятора, который представляет собой диск с прорезями, что вращается. Потом оптическое излучение проходит через интерференционный светофильтр, что имеет пропускную полосу, в которую попадает линия поглощения газа, который анализируется. Дальше оба модулируемых пучка с помощью концентратора направляются на пироэлектрический фотоприемник. В фотоприемнике осуществляется превращение потока излучения в пропорциональный ему по величине переменный электрический сигнал и происходит его предыдущее усиление. Потом сигнал усиливается к унифицированному значению в основном усилителе и поступает в устройство обработки информации.

В связи с развитием промышленных контроллеров задачи обработки измерительной информации логично проводить с их помощью, обеспечивая сопряжение исходного сигнала ИП со входом контроллера. Для реализации системы используем программируемый логический контроллер фирмы VIPA серии System 200V. С помощью System 200V можно создавать новые высокопроизводительные системы управления и контроля, которые соответствуют современным требованиям [6].

Измерение происходит в непрерывном режиме. Функциональная схема системы контроля состава дымового газа котельных установок представлена на рис. 5 (схема показана обобщенно в виде одноканальной, но практически система является многоканальной для многокомпонентного анализа газовой смеси).

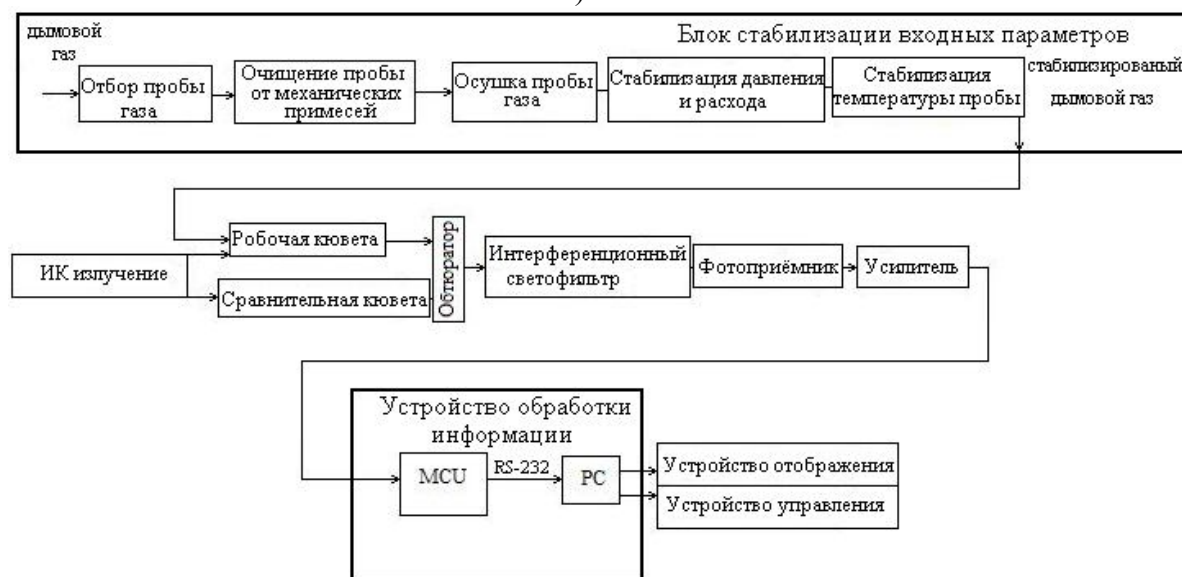


Рис. 5. Функциональная схема системы контроля состава дымового газа котельных установок

Программная реализация. Для реализации поставленной задачи используем программный пакет WINPLC7 для конфигурации, программирования, наладки программ и диагностики контроллеров VIPA всех серий [7]. Программу напишем на языке программирования Ladder Diagram (LAD) – язык релейно-контактных схем [8]. Алгоритм работы программы представлен на рис. 6.

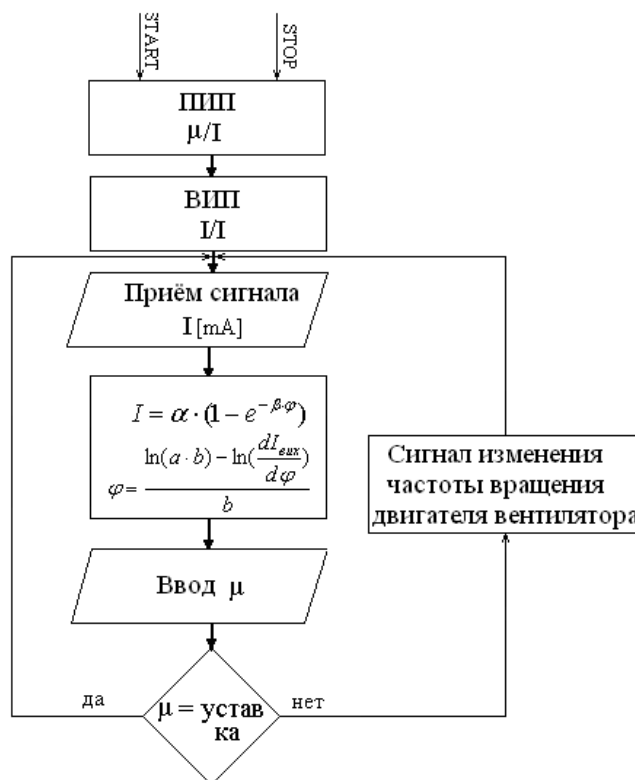


Рис. 6. Алгоритм работы программы

Алгоритм работы программы следующий: из газоанализатора поступает переменный электрический информационный сигнал о составе дымового газа. Этот сигнал принимает функциональный блок (Scaling analog value) и превращает его в переменную, которая соответствует значению унифицированного электрического сигнала (тока) в пределах 4 – 20 mA. Далее осуществляется превращение электрического сигнала в соответствующую ему концентрацию конкретного дымового газа. Превращение осуществляется соответственно функциональной зависимости, которая представлена в формуле (1). После получения значения о количестве конкретного газа его сравнивают с уставками. Если концентрация в допустимых пределах, тогда в топку котла продолжает поступать воздух с такой же интенсивностью. Если концентрация выходит за пределы уставок – в топку котла подается большее или меньшее (в зависимости от сигнала) количество воздуха. Процесс подачи воздуха в топку котла осуществляется при помощи частотных регуляторов (ЧР). Процесс контроля и управления происходит непрерывно в режиме реального времени.

На рис. 7 и 8 представлены изменения концентрации кислорода в дымовых газах котельных установок (рис. 7 – без корректировки содержимого кислорода в отходных газах, рис. 8 – с корректировкой).

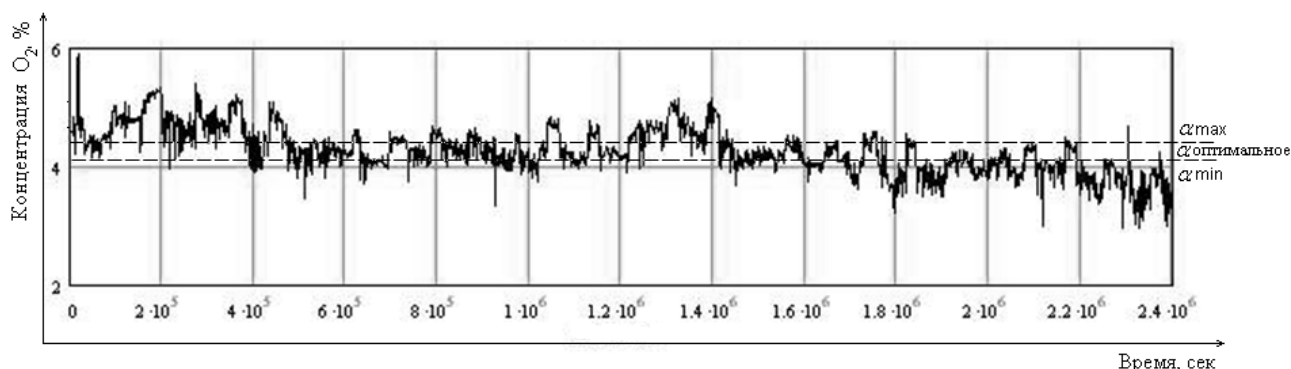


Рис. 7. Изменение концентрации кислорода в дымовых газах без корректировки

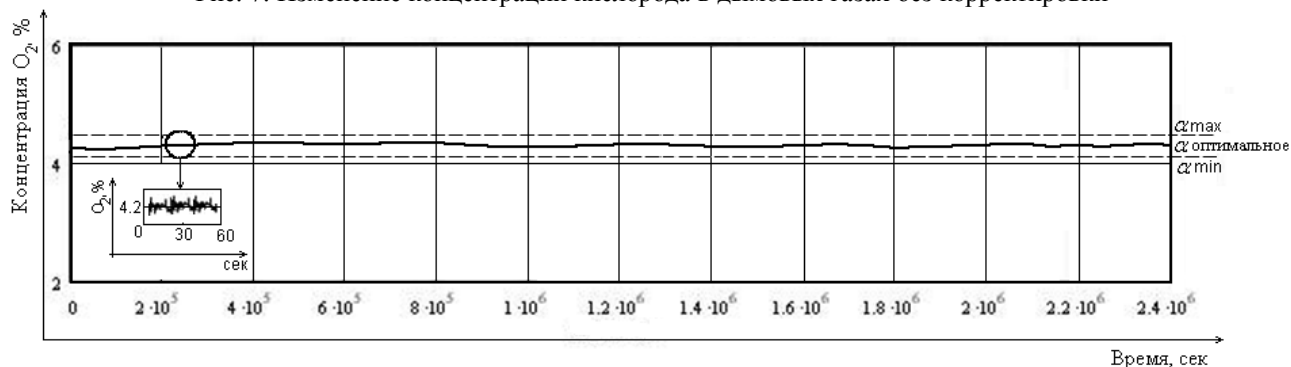


Рис. 8. Изменение концентрации кислорода в дымовых газах с корректировкой

Используя кислородную формулу $\alpha = \frac{21}{21 - O_2[\%]}$ для оптимального значения КНП $\alpha = 1,25$, $\pm 0,01$ (на примере котла ДЕ- 25-14 ГМ), рассчитаем оптимальную концентрацию кислорода в дымовых газах. Таким образом, $\mu(O_2)_{\min} = 4,06\%$ и соответственно $\mu(O_2)_{\max} = 4,33\%$. Следовательно, можно сделать вывод, что КУ, которая работает с контролем состава дымовых газов, имеет высокую ресурсоэнергетическую эффективность. В течение всего периода работы концентрация кислорода находится в оптимальных пределах (рис. 8).

Выводы

В работе предложена система автоматического управления котельной установкой с подсистемой контроля состава дымовых газов на основе оптико-абсорбционного инфракрасного метода с компенсацией влияния атмосферной пыли и избыточной влажности. Представлен алгоритм программы контроля состава дымовых газов котельных установок для поддержки оптимального соотношения «топливо – воздух» в топке котла. КУ работает ресурсоэффективно на протяжении всего периода работы при корректировке количества воздуха в топке по составу отходящих газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплюх З. М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу димових газів // З. М. Теплюх // *Енергетика и Электрификация*. – 2004. – № 3. – С. 10 – 18.
2. Кустикова М. А. Методические указания к лабораторным работам по разделу “Оптико-электронные газоанализаторы” курса “Экологический мониторинг” / М. А. Кустикова, М. Н. Мешалкина, В. Л. Мусяков, А. Н. Тимофеев. – С-Пб.: 2003. – С. 73 – 89.
3. Антропов Д. Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук : 05.14.04 / Антропов Дмитрий Натанович. – Казань: 2007, С. 175.
4. Кучерук В. Ю. Використання ресурсозбережних технологій на теплопостачальних підприємствах. II-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. Збірник наукових статей / В. Ю. Кучерук, І. А. Дудатьєв. – Вінниця : Діло, 2009. – 604 с.

5. Голинько В. И. Контроль содержания кислорода и газов неогнивающего в выбросах котлоагрегатов / В. И. Голинько, В. И. Романенко, В. Е. Фрундин, Р. К. Стасевич // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – 2003. – № 53. С. 115 – 118.
6. VIPA [Электронный ресурс] // Режим доступа: www.VIPA.de.
7. S7-Programme [Электронный ресурс] // Режим доступа: www.WinPLC7.de.
8. Кучерук В. Ю. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC / В. Ю. Кучерук, В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 132 с.
9. Парахин Н. Ф. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом. / Н. Ф. Парахин, А. К. Алексеева. – Энергосбережение. – 2007. – № 6. – С. 26 – 28.

Кучерук Владимир Юрьевич – д. т. н., профессор, заведующий кафедры метрологии и промышленной автоматики, e-mail: kucheruk@mail.ru, тел.: (0432) 672425.

Дудатьев Игорь Андреевич – магистрант кафедры метрологии и промышленной автоматики, e-mail: dudatiev@mail.ru, тел.: (0432) 672425.

Винницкий национальный технический университет.