

УДК 621

РЕГУЛЯТОР ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

Докт. техн. наук, проф. ВУЙЦИК В.,
кандидаты техн. наук ГОЛЕЦ Т., КОТЫРА А.,
ассистенты КАЛИТА М., СМОЛЯЖ А.

*Люблинский технический университет,
Институт энергетики,
(Польша)*

Сжигание ископаемых топлив – серьезный источник загрязнения атмосферы. К сожалению, сегодня и в ближайшем будущем нет возможности отказаться от этого, так как они являются основным энергоносителем. Большая доля загрязнений приходится на энергетику, и в первую очередь угольную. До 70-х гг. прошлого столетия главным направлением развития пылеугольных горелок было увеличение их единичной мощности, стабильности работы, долговечности и надежности. Экологические требования, касающиеся прежде всего лимитирования выбросов NO_x , вызвали изменение принципов котлостроения. С целью уменьшения токсичных выбросов до определенного уровня была внедрена так называемая низкоэмиссионная технология сжигания топлив. Преимуществом этих изменений является ограничение NO_x до нормального уровня при относительно небольших капиталовложениях. Низкоэмиссионная горелка должна обеспечивать стабильность сжигания при нагрузке котла от 50 до 100 %, а также эмиссию CO менее 100 млн^{-1} и недожог до 5 %. Уменьшение эмиссии NO_x путем изменения процесса сжигания имеет негативные последствия для котельного агрегата: увеличение эмиссии CO и недожога, коррозия поверхностей теплообмена и уменьшение паропроизводительности.

Решение этих проблем требует регулирования работы горелок. Сегодня уже недостаточно регулирования общего расхода воздуха по сигналу о количестве кислорода в дымовых газах. В существующих системах регуляции используются такие параметры, как расход пылеугольной смеси, расход воздуха, а также концентрация в дымовых газах CO , NO_x , O_2 . Были предприняты попытки использования нейтронного регулятора вместо классического [1]. В этой области регуляторы сегодня имеют общий недостаток: для регулирования применяются средние значения параметров, информация о которых поступает со значительной задержкой.

В энергетических котлах одновременно работают от единиц до десятков горелок, а измерение химического состава газов осуществляется с помощью газовых анализаторов, которые стоят за воздухоподогревателями. Задержка сигнала от них может достигать нескольких минут, что делает управление малоэффективным.

В настоящей работе представлена попытка использования нейтронного регулятора. Для регулирования использован сигнал от световодной системы мониторинга пламени отдельной горелки, разработанной на кафедре электроники Люблинского технического университета. Сигнал дает практически мгновенную информацию.

Скорости воздуха и топлива в горелках энергетических котлов таковы, что горение происходит в турбулентном режиме. Это создает дополнительные трудности при измерениях, представляя усредненную информацию о режиме работы горелки. Турбулентность пламени выглядит как мигание. Измерение параметров мигания несет информацию о процессе горения. Световодный зонд служит для многозонного осмотра пламени единичной горелки [2]. Детальный теоретический анализ позволил выбрать параметры, измерение которых возможно в промышленных условиях. Это, в свою очередь, позволило создать световодную систему для их измерений. В качестве измеряемых параметров приняты пульсация пламени, которая является мерой турбулизации, и его интенсивность, которая является мерой температуры пламени [3].

Даже наиболее совершенные системы регулирования не могут регулировать работу отдельной пылеугольной горелки, а только индивидуальный избыток воздуха отвечает за количество NO_x . Анализ проблемы позволил сделать вывод о том, что до появления [4] не существовало метода, который позволял бы измерять выходные параметры отдельной горелки, например эмиссии окислов азота. Световодная система мониторинга пламени дает информацию о качестве горения [5]. Для получения количественной информации об эмиссии NO_x на основании полученных от этой системы сигналов используется нейтронный эстиматор ожидаемой величины. Применение нейтронной сети обусловлено большими нелинейностями и отсутствием аналитической модели турбулентного пламени. Регулятор предполагается использовать во внутреннем кольце регулирования для коррекции количества вторичного воздуха, заданного через устройство регулирования высшего уровня. Концепция регулирующего устройства показана на рис. 1.

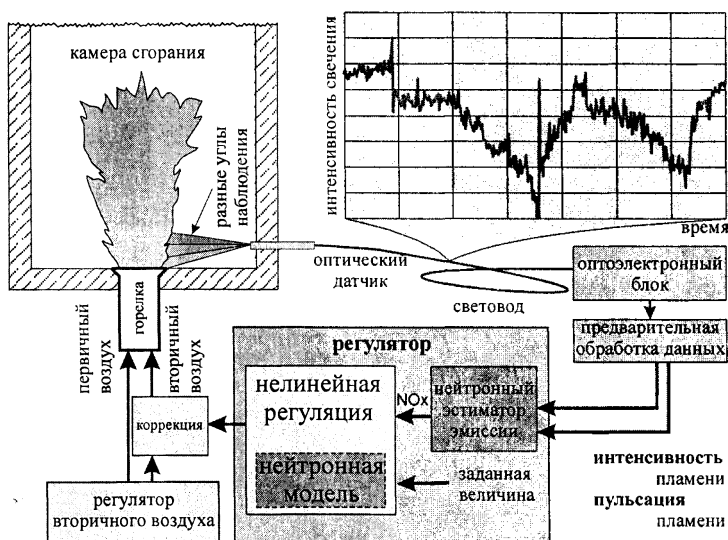


Рис. 1. Схема управления пылеугольной циклонной горелкой

Был принят квадратичный показатель качества горения в виде

$$J(t, U(t)) = \sum_{i=N_1}^{N_2} [r(t+i) - \hat{y}(t+i)]^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_u} [\Delta u(t+i-1)]^2,$$

где $U(t)$ – вектор управления; r – заданный параметр управления; N_1, N_2 – соответственно начало и конец временного отрезка, для которого ведется прогнозирование; N_u – длина временного отрезка регулирования; \hat{y} – выходная величина модели; ρ – степень подавления переменности управления относительно ошибки регулирования; Δu – приращение величины сигнала управления.

Показатель J оптимизирован в структуре нелинейного регулятора с нейронной моделью процесса. Косвенный метод регулирования был использован в связи с простотой модификации критерия регулирования, что особенно удобно на исследовательском этапе. В непосредственных методах это связано с требующим времени тренингом сети или изменением ее структуры. Кроме того, некоторые особенности вида показателя J не удается реализовать простым способом в непосредственных методах.

Исследования проводились на экспериментальной установке Института энергетики в Варшаве. Выбор объекта исследований был обусловлен прежде всего возможностью проведения исследований единичной горелки, а также возможностью определения важнейших параметров с необходимой точностью. Объектом исследования являлась топка с одной пылеугольной циклонной горелкой, которая моделирует низкоэмиссионную промышленную горелку с отдельной подачей вторичного воздуха, изготовленную в масштабе 1:10. В процессе эксперимента измерялись расходы первичного и вторичного воздуха, угля, эмиссия NO_x , а также интенсивность и пульсация пламени. Длительность одного измерения составляла 10 с.

На основании серии измерений создан нейронный эстиматор эмиссии NO_x . Установлено, что оптимальна модель, входными сигналами которой служат только интенсивность и пульсация пламени, измеренные в зоне пламени, наиболее реагирующей на изменение системы воздух – топливо. Наилучшие результаты дала структура NNFIR(5.0) (Neural Network Finite Impulse Response) [6] в виде

$$y(t) = [g(t), \theta] + e(t),$$

где t – время; $y(t)$ – выход; θ – вектор, содержащий параметры сети; g – нелинейная функция, реализованная нейронной сетью; $e(t)$ – белый шум. Вектор регрессии для модели NNFIR имеет вид

$$\varphi(t) = [u(t - n_k), \dots, u(t - n_b - n_k + 1)].$$

Модель исполнена в форме сети типа трехслойного перцептрона MLP (10, 4, 1). На рис. 2 показано изменение реального уровня эмиссии NO_x во время одного из экспериментов и уровня, полученного из нейронного аналога. Сигналы синхронизированы для того, чтобы ликвидировать запаздывание во времени, которое дает газовый анализатор.

По результатам измерений разработан имитатор отдельных параметров горелки, который использован для предварительных исследований системы управления. Имитационные исследования проводились с целью установления возможности стабилизации эмиссии NO_x . На рис. 3 показано сравнение отклика системы регулирования, работающей на сигнале с анализатора газов (пунктирная линия) и на сигнале с оптического зонда

(сплошная линия). Как и на рис. 2, сигналы были синхронизованы с учетом запаздывания от газового анализатора.



Рис. 2. Изменения NO_x , полученные с помощью газового анализатора (черная линия) и на основании измерений оптическим зондом (серая линия)

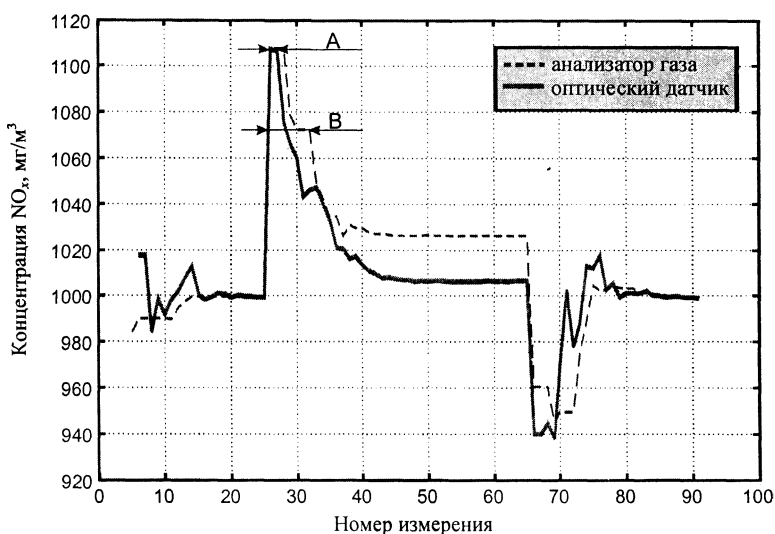


Рис. 3. Сравнение отклика объекта для NPC при различных способах получения информации об уровне эмиссии NO_x

При соответствующих параметрах регулятора в системе со световодным зондом и нейтронным эстиматором можно достигнуть установившегося уровня в течение 20 периодов измерений. Эта величина соизмерима с соответствующей в системе с газовым анализатором. Преимуществами нового решения являются намного меньшее время отклика на отклонения (A, рис. 3), а также значительно меньшее время влияния отклонения на выходной сигнал. Это время при традиционном решении (B, рис. 3) зависит в основном от запаздывания системы измерения концентрации, которое в случае больших объектов может достигать нескольких сотен секунд. В этом случае система с газоанализатором в течение 20 периодов измерений будет не в состоянии даже заметить изменение эмиссии. Время откли-

ка системы управления с оптическим зондом (А, рис. 3) – не более двух периодов измерений.

ВЫВОДЫ

1. Использование оптического сигнала в системе нейтронного управления единичной горелкой позволяет стабилизировать эмиссию окислов азота.

2. Оптический сигнал является наиболее оперативным методом получения селективной информации с отдельной горелки.

3. Дальнейшие исследования необходимо проводить в следующих направлениях:

- изучать возможности использования других методик обработки информации от светового зонда, например фильтрации либо преобразований Фурье или иного типа, с целью увеличения точности аналоговой модели и улучшения качества управления;

- расширять систему на топку с большим количеством горелок;
- использовать размытую логику, так как процесс горения при современном развитии науки не может быть описан аналитически; в этом случае представляется целесообразным употребление понятий не количественных, а качественных. Совместная работа системы с оператором процесса более эффективна при использовании качественных показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arabas J., Domański P., Świrski K. Soft Computing – wybrane zastosowania w energetyce // Diagnostyka jakości spalania w energetyce: Materiały Konf. Nauk.-Techn., Ustroń-Zawodzie, 25–27.03.1998. – S. 7–25.

2. Wójcik W. Światłowody w zastosowaniu do kontroli pracy palnika pyłowego // Diagnostyka jakości spalania w energetyce: Materiały Konf. Nauk.-Techn., Ustroń-Zawodzie, 25–27.03.1998. – S. 325–348.

3. Fibre Optic Monitoring System / A. Smolarz, W. Wójcik, A. Kotyra, C. Wojciechowski, P. Komada // Lightguides and Their Applications, Proceedings of SPIE. – Vol. 4239. – P. 129–132.

4. Kordylewski W. Niskoemisyjne techniki spalania w energetyce / Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław, 2000.

5. Optical Fiber System for Combustion Quality Analysis in Power Boilers, Optoelectronic Information Technologies / W. Wójcik, W. Surtel, A. Smolarz, A. Kotyra, P. Komada. – Proceedings of SPIE, 2001. – Vol. 4425. – P. 517–522.

6. Norgaard M. Neural Network Based System Identification Toolbox, Tech. Report. 00–E–891, Department of Automation, Technical University of Denmark, 2000.

Поступила 29.09.2003