



*Д.С. Ревунов*  
ООО НПФ «КРУГ»

*А.Д. Семёнов*  
Пензенский государственный университет

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

В работе представлен программно-аппаратный комплекс оптимизации процесса горения топлива, в котором используются методы современной теории автоматического управления и автоматизации технологических процессов, теории вероятностей и математической статистики, компьютерного моделирования. Синтезированная экстремальная система управления горением позволяет снизить расход топлива в котельной установке.

Котельная установка, горелка, котлоагрегат, соотношение «топливо-воздух», алгоритм поиска экстремума, метод наименьших квадратов.

Теплоэнергетика – отрасль промышленности, отличающаяся широкой механизацией технологических процессов, высокими параметрами рабочей среды, требованиями к точности их регулирования, а также наличием собственного источника энергии; является той областью науки и техники, где постоянно находят применение методы теории и новые технические средства автоматического управления.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) предназначен для оптимизации процессов горения в тепловых установках, и может быть использован в составе систем контроля горения в топках промышленных котлов. Применение программно-аппаратного комплекса направлено на повышение энергоэффективности котельных установок и снижение загрязнений атмосферы вредными продуктами путем повышения точности ведения процесса горения топлива, который на практике носит экстремальный характер.

На практике применяется несколько видов систем регулирования соотношения «топливо-воздух». Наиболее распространенные из них:

1. Система управления процессом горения, в которой поддерживается соотношение «топливо-воздух» в соответствии с заранее подготовленной режимной картой [1]. Недостатком данной системы является сложность составления режимной карты и неэффективность при определенных условиях (износ технологического оборудования, изменение состава топлива и т.д.), что приводит к возникновению статической ошибки регулирования.

2. Система управления процессом горения, в которой происходит экстремальное управление с обратной связью по тому или иному показателю качества работы котельной установки. Недостатком данной системы является низкое быстродействие и низкая помехозащищенность [2].

3. Система управления процессом горения по составу дымовых газов. Недостатком данной системы является высокая стоимость и недолговечность сенсоров оксида углерода (или кислорода) и трудоемкость монтажа датчиков в дымовом тракте котельной установки [3].

В программно-аппаратном комплексе заложен алгоритм управления горением топлива с адаптацией метода поиска экстремума [2] для систем оптимизации процесса горения топлива, т.е. поиск в реальном времени оптимального соотношения «топливо-воздух», обеспечивающего заданную производительность котельной установки с минимальным расходом топлива.

Сущность алгоритма, заложенного в программно-аппаратном комплексе оптимизации горения топлива, заключается в следующем (рис. 1):

1. С помощью датчиков измеряется текущее значение расхода топлива и воздуха, поддерживаемых с помощью соответствующих стандартных регуляторов топлива (РТ) и воздуха (РВ).

2. В блоке вычисления коэффициента передачи воздух-топливо (БВК) происходит вычисление коэффициента отношения расхода топлива к расходу воздуха.

3. В блоке поиска нуля (БПН) с помощью поисковых движений, воздействующих на регулирующий орган подачи воздуха РВ, добиваются, чтобы вычисляемый коэффициент был близок к нулевому значению [3].

Сочетание новых признаков (п. 1 и п. 2) с известным (п. 3) позволяет снизить удельный расход топлива на единицу производимой продукции котельной установки. Техническим результатом данной системы управления является повышение эффективности работы котельной установки и снижение загрязнений атмосферы вредными продуктами.

На первом этапе разработки программно-аппаратного комплекса с целью оценки эффективности экстремального регулятора была разработана математическая модель процесса горения с экстремальным регулятором в приложении Simulink [4]. Анализ полученных результатов (рис. 2) позволяет установить, что экстремальный регулятор, работающий в условиях помех, практически полностью исключает дрейф экстремума, вызванного воздействием гармонического сигнала.

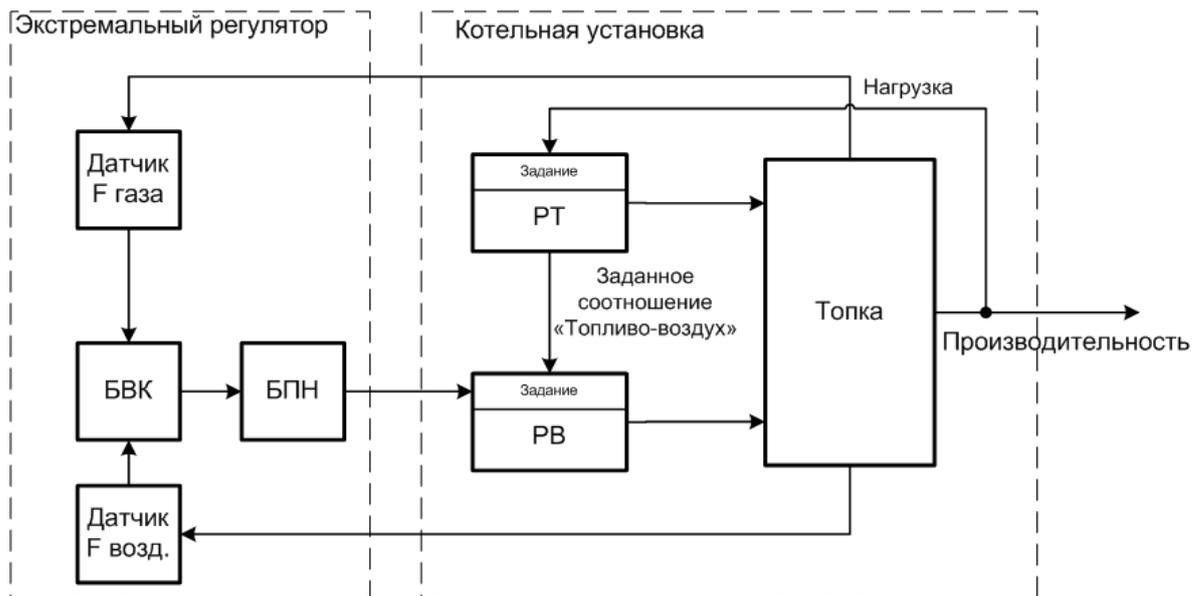


Рис. 1. Функциональная схема оптимизации процесса горения топлива

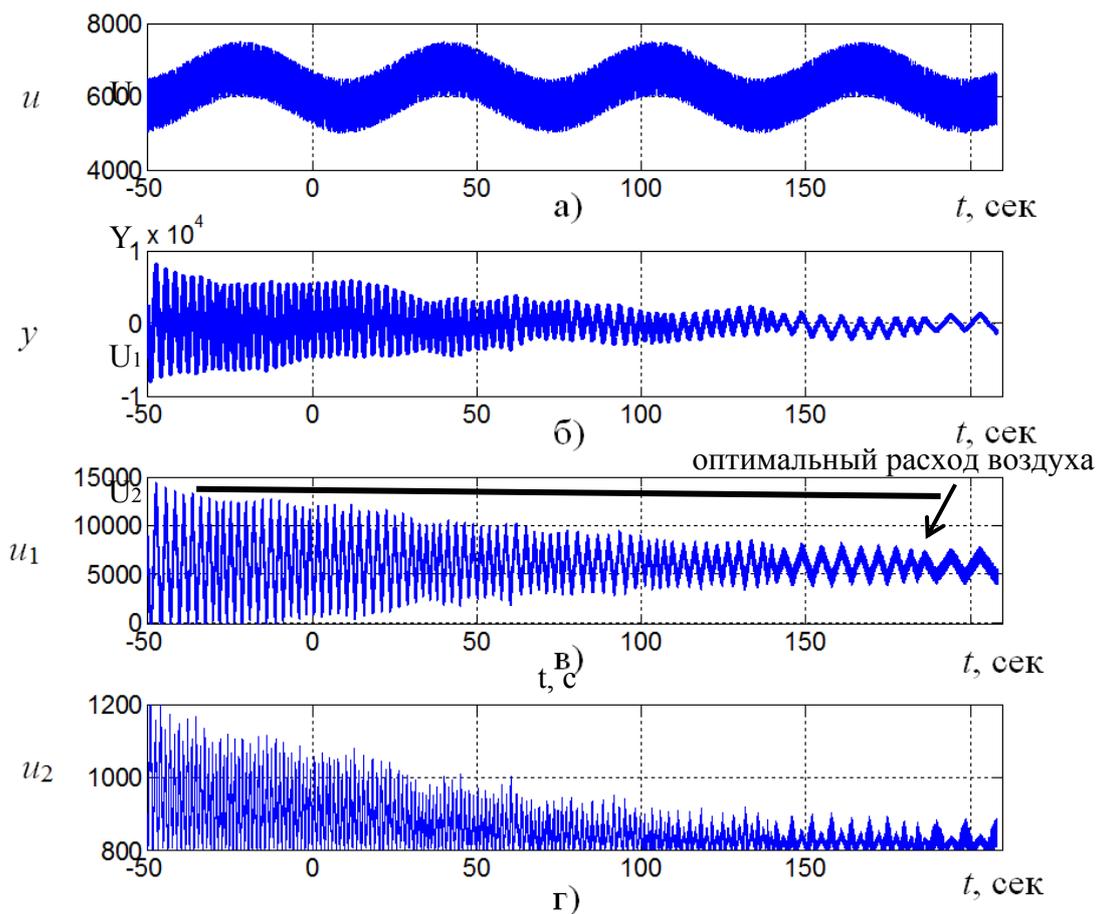


Рис. 2. Осциллограммы входного сигнала  $u$  (а), управляющего воздействия экстремального регулятора  $y$  (б), сигнала на входе нелинейного элемента  $u_1$  (в), сигнала на выходе нелинейного элемента  $u_2$  (г)

После подтверждения эффективности предложенного алгоритма спроектирован и сконструирован программно-аппаратный комплекс оптимизации горения топлива (рис. 3).

Разработано прикладное (пользовательское) программное обеспечение для интеграции в состав программного обеспечения контроллерного оборудования.

Проведенная комплексная настройка и проверка работоспособности программно-аппаратного комплекса на полигоне ещё раз подтвердила эффективность предложенного способа регулирования процесса горения топлива. В результате испытаний подтверждено снижение расхода природного газа на 3,6%.



Рис. 3. Внешний вид программно-аппаратного комплекса

С целью подтверждения технико-экономической эффективности в настоящий момент выполняется подготовка к проведению опытной эксплуатации программно-аппаратного комплекса в составе автоматизированной системы управления горением топлива промышленной газовой горелки. Прогнозируемое повышение эффективности котельной установки – от 2 до 4%. Например, для котлоагрегата ТГМЕ – 464, работающего при средней производительности 450 тонн пара в час, экономия будет составлять около 27 млн. рублей в год.

#### Литература

1. Плетнев, Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. – Москва : МЭИ, 1995. – 353 с.
2. Экстремальное регулирование котельного агрегата / Шмелев Н. В. [и др.] // Электрические станции. – 1967. – №10. – С. 31–37.
3. Патент №2471220 Российская Федерация, МПК G05B13/00. Способ поиска экстремума статистической характеристики инерционного объекта : № 2011119698/08 : заявл. 16.05.2011 : опубл. 27.12.2012 / Семенов А. Д., Авдеева О. В., Никитин А. С. ; заявитель и патентообладатель О. В. Авдеева.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – Москва : Мир, 1984. – 541 с.

**D.S. Revunov, A.D. Semenov**

#### **SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF FUEL BURNING PROCESS OPTIMIZATION**

The study presents the software and hardware complex of fuel burning process optimization. The complex uses the methods of the contemporary theory of automatic management and automation of technological processes, probability theories and mathematical statistics, computer modelling. The synthesized extreme combustion control system allows to reduce the fuel consumption in the boiler plant.

Boiler installation; burner; boiler unit; fuel-to-air ratio; extremum search algorithm; least square method.