

ОБ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

ABOUT INTELLECTUAL ADAPTATION OF PID-REGULATION IN CONTROL SYSTEMS OF BOILERS OF SMALL POWER

**S. Gordin
I. Zaychenko**

Summary. As part of the study, a control scheme was implemented with the adaptation of the PID controller coefficients based on a neural network (neural network optimizer). The neural network optimizer was used as an add-on over the PID controller in the blast control scheme of a solid fuel boiler with periodic refueling. As a result of the experiment, it was found that the use of a neural network optimizer can increase the efficiency of the boiler.

Keywords: neural network, PID controller, neural network optimizer, nonlinear systems, methods for increasing the efficiency of solid fuel boilers.

Гордин Сергей Александрович

*К.т.н., Комсомольский-на-Амуре государственный университет
gordin@knastu.ru*

Зайченко Илья Владимирович

*К.т.н., Доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
zaychenko@inbox.ru*

Аннотация. В рамках исследования была реализована схема управления с адаптацией коэффициентов ПИД-регулятора на базе нейронной сети (нейросетевой оптимизатор). Нейросетевой оптимизатор был применен как надстройка над ПИД-регулятором в схеме управления дутьем твердотопливного котла с периодичным забросом топлива. В результате проведенного эксперимента было установлено, что применение нейросетевого оптимизатора позволяет увеличить КПД котла.

Ключевые слова: нейронная сеть, ПИД-регулятор, нейросетевой оптимизатор, нелинейные системы, методы повышения КПД твердотопливных котлов.

В автономных системы теплоснабжения в качестве источников тепловой энергии используются твердотопливные водогрейные котлы, подача топлива которых осуществляется периодически ручным или механическим способом. При этом на котлах с ручной загрузкой топлива, как правило, отсутствуют системы автоматического регулирования. В результате такие автономные системы теплоснабжения являются менее эффективными, по сравнению с большими тепловыми сетями, а поиск решений по повышению их эффективности является актуальным [1].

Процессы горения в твердотопливных котлах с периодичной подачей топлива обладают нелинейными характеристиками и для их описания требуется применять модели с различными допущениями, в том числе с допущением линейности характеристик и единственностью оптимального состояния [2, 3]. Для управления объектами с линейными характеристиками промышленно выпускаются ПИД-регуляторы, основная функция которых направлена на поддержание заранее заданного параметра системы, а коэффициенты ПИД регулирования предполагают заранее известную и постоянную во времени скорость переходных процессов. Это ограничивает применение ПИД-регуляторов в системах, имеющих несколько стабильных состояний с заранее неизвестными переходными процессами [17].

Одним из возможных решений для управления объектами, состояния которых описываются совокупностью нелинейных характеристик, является построение адаптивных систем управления технологическими процессами, адаптирующими коэффициенты ПИД-регулятора в соответствии с характеристиками процесса управления [4] либо компенсация нелинейной характеристики [13, 16].

Технологический процесс выработки тепла с помощью твердотопливного котла с периодичным забросом топлива является циклическим и состоит из нескольких этапов [5]:

1. заброс топлива;
2. нагрев топлива и его разгорание;
3. горение топлива.

На каждом из этапов процесса требуется поддерживать различную мощность дутья и при ручном управлении процесс регулировка мощности дутья осуществляется механической задвижкой.

Исходя из технологического процесса, в момент заброса топлива требуется минимальная мощность дутьевого вентилятора с целью предотвращения выдувания дымовых газов из топки котла в помещение котельной. При этом в дымовом тракте содержание

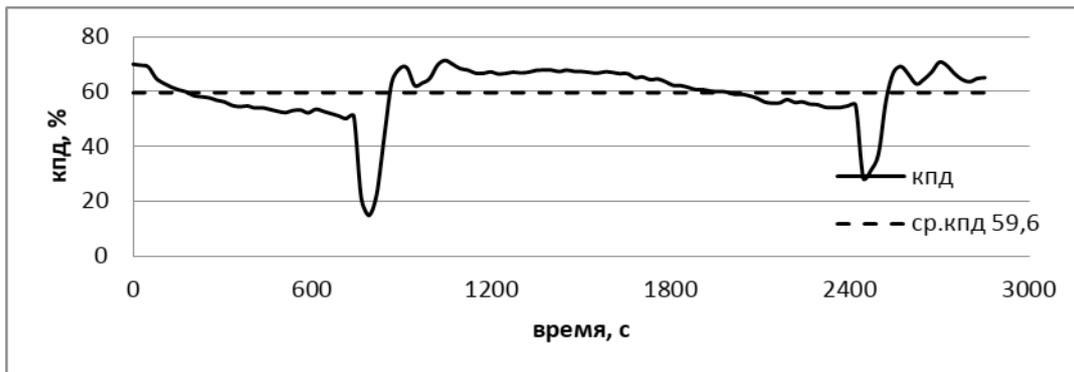


Рис. 1. График изменения КПД котла

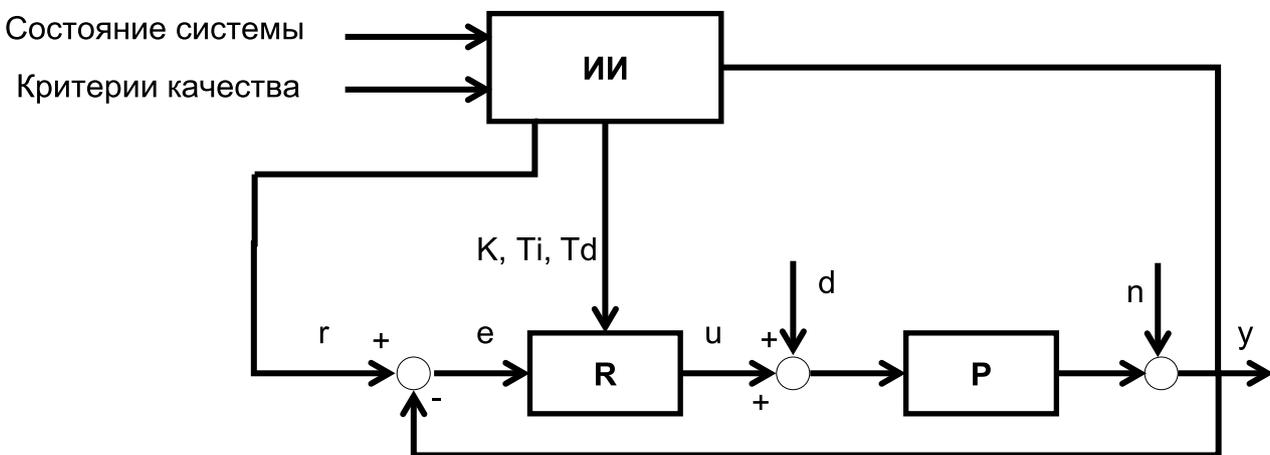


Рис.2. Схема нейросетевого управления,

где: R — ПИД-регулятор; P — объект управления; r — управляющее воздействие; e — сигнал ошибки; u — сигнал регулятора; y — регулируемая величина; d — внешние возмущения; n — шум; K — пропорциональный коэффициент; Ti — интегральный коэффициент; Td — дифференциальный коэффициент

кислорода в дымовых газах близко к максимальному уровню 20,8%. Этап нагрева топлива и его разгорания обычно проходит при максимальной производительности дутьевого вентилятора с целью сокращения данного этапа во времени. Этап горения топлива является основным этапом и самым продолжительным, при этом на данном этапе уровень мощности дутьевого вентилятора должен обеспечивать достаточный приток воздуха в топку котла, а коэффициента избытка воздуха в дымовых газах (α) должно быть на уровне 1,5.1,6.

При отсутствии регулирования дутья, коэффициента альфа в процессе работы котла изменяется в широком диапазоне 1.15, что приводит к сильному колебанию КПД котла и снижению его среднего значения относительно паспортных характеристик. График изменения КПД котла

с периодической подачей топлива без регулирования дутья приведен на рис. 1.

Таким образом, применение ПИД-регулятора для управления твердотопливными котлами с периодическим забросом топлива не позволяет получить оптимальное управление на всем протяжении технологического цикла и, следовательно, задача управления такими котлами требует выработки новых решений в рамках теории автоматического управления.

Существующая на сегодняшний день совокупность методов адаптации ПИД-регулирования для решения задач управления объектами с нелинейными характеристиками может быть разделена на две группы: первая группа — это классические методы Циглера-Никольса [6], А. Г. Александрова [7] или аналогичные им методы [8,

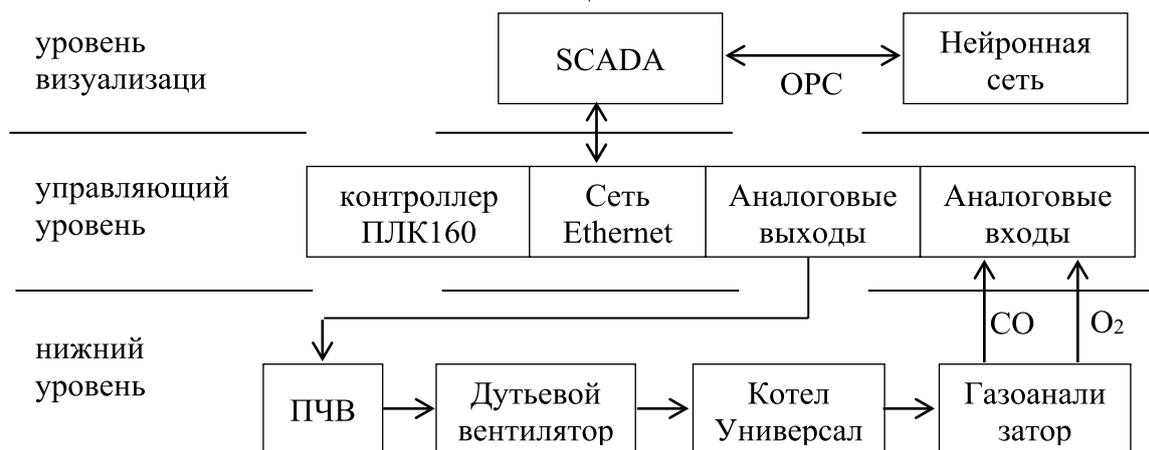


Рис. 3. Функциональная схема управления

9]; вторая группа — это методы на основе искусственно-го интеллекта [10, 11, 14,15].

При разработке интеллектуальной адаптации пид-регулирования в системах управления котлов малой мощности авторами была применена методология нейросетевых систем управления, обеспечивающей возможность адаптивного управления на основе статистического анализа нелинейных характеристик объекта управления.

При построении экспериментальной схемы была применена классическая схема управления на основе ПИД-регулятора с добавлением параллельно нейрон-ной сети, изменяющей параметры ПИД-регулирования. Общий вид экспериментальной схемы представлен на рис. 2.

Такая схема позволяет использовать стандартные схемы управления технологическими процессами без внесения существенных изменений в схему управления. Необходимость только лишь подключения нейронной сети к существующей системе позволяет существенно снизить стоимость внедрения такой интеллектуальной надстройки.

Объектом исследования интеллектуальной адаптации ПИД-регулирования в системах управления котлов малой мощности являлась возможность практическо-го применения нейронных сетей в задаче адаптивного управления процессами выработки тепловой энергии и возможности повышения КПД твердотопливных кот-лов.

В качестве объекта эксперимента был выбран твер-дотопливный водогрейный котел с периодичной руч-ной загрузкой топлива (бурый уголь марки ЗБР) типа

Универсал-0,63. Мощность дымососа была постоянна и обеспечивала разрежение за котлом на уровне $-4,5-5$ мбар. Экспериментальная система управляла мощно-стью дутьевого вентилятора посредством частотного преобразователя.

Реализованная система управления дутьевым венти-лятором, функциональная схема которого представлена на рис. 3, состоит из трех уровней.

На нижнем уровне находились газоанализатор, из-меряющий состав дымовых газов (уровень кислорода и угарного газа) и частотный преобразователь типа ПЧВ для изменения производительности дутьевого венти-лятора. Управляющий уровень представлен программиру-емым логическим контроллером ПЛК160, управляющим параметрами частотного регулятора с целью изменения мощности дутьевого вентилятора. На уровне визуали-зации находился ноутбук с программной реализацией нейронной сети, написанной на языке C++, и взаимо-действующей с SCADA системой через OPC-интерфейс посредством тэгов.

Основной задачей нейронной сети было определе-ние на основе показаний уровня содержания кислорода (O₂) и угарного газа (CO) факта заброса топлива и нача-ла процесса разгорания топлива; окончания процесса разгорания и переход на этап сгорания топлива в топке котла.

В рамках исследования были проведены одинако-вые по условиям эксперименты для двух вариантов: для обычного ПИД-регулятора и для системы с нейро-сетевым оптимизатором параметров ПИД-регулятора. Загрузка котла составляла 55%, топливо загружалось в топку котла ручным способом с равным интервалом времени. Время эксперимента составило 6 часов, в те-

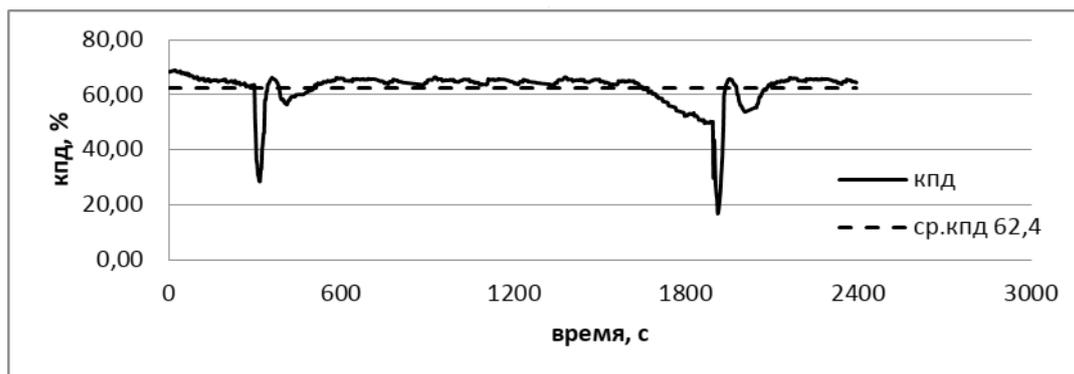


Рис. 4. Изменение КПД котла, управляемого ПИД-регулятором с постоянными коэффициентами

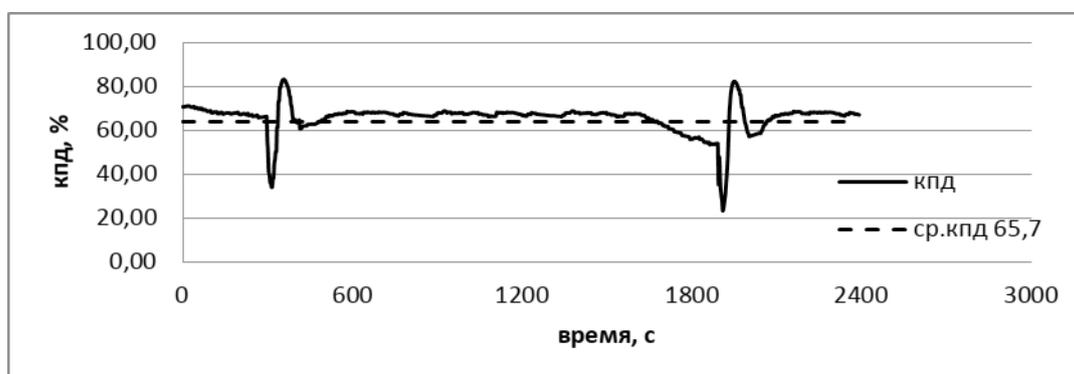


Рис. 5. Изменение КПД котла, управляемого регулятором с нейросетевым оптимизатором

чении которого было выполнено 12 циклов заброса топлива. Расчет КПД котла производился по упрощенной методике профессора М. Б. Равича [12].

Результаты эксперимента, полученные с использованием обычного ПИД-регулятора, приведены на рис. 4.

При регулировании дутья с помощью ПИД-регулятора с удержанием коэффициента альфа на уровне 4, происходит выравнивание КПД котла на этапе горения. Но на этапе разговаривания топлива, когда новая порция топлива еще не вступила в реакцию, ПИД-регулятор ограничивает подачу воздуха в котел, что приводит к увеличению времени разгорания топлива, повышения содержания угарного газа в дымовых газах и, как следствие, к снижению КПД котла на данном этапе, по сравнению с КПД котла без регулирования.

Регулирование дутья с применением нейросетевого оптимизатора позволяет подстраивать подачу воздуха в зависимости от этапа горения топлива: увеличивать подачу кислорода на этапе разгорания, тем самым сокращая данный этап, и поддерживать оптимальный уровень избытка воздуха на этапе горения.

Результаты эксперимента, полученные с использованием нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора, приведены на рис. 5.

Таким образом, нейросетевой оптимизатор позволяет добиться более высокого КПД твердотопливных котлов с ручной периодической подачей топлива, чем применение ПИД-регулятора.

Сравнение результатов экспериментов эксплуатации твердотопливного котла с периодическим забросом топлива при применении для регулирования дутья ПИД-регулятора с постоянными коэффициентами и регулятора с нейросетевым оптимизатором показало:

1. Использование ПИД-регулятора с постоянными коэффициентами для регулирования дутья котла с периодическим забросом топлива позволяет повысить КПД котла на 2%.2,5% за счет оптимальной подачи воздуха только на этапе горения.
2. Использование регулятора с нейросетевым оптимизатором позволило повысить средний КПД котла на 5,5.6% за счет более равномерного процесса горения на всех этапах: разгорания и горения топлива.

Таким образом, результаты проведенного эксперимента позволяют сделать вывод о том, что разработанная нейросетевая надстройка для ПИД-регулятора

может рассматриваться как прототип для создания интеллектуальной системы управления твердотопливными котлами с периодической подачей топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нуров М.Ш., Гордин С. А. Оптимизация схемы теплоснабжения по критерию минимума потерь при транспортировке энергии до потребителя — В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 392–395.
2. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы / И. В. Мирошник. — СПб.: Питер, 2006. — 272 с.
3. Пупков, К. А. Методы классической и современной теории автоматического управления / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Баркин, Е. М. Воронов, Э. П. Козубов, В. Г. Коньков, В. И. Краснощеченко, А. П. Курдюков, В. Н. Пилишкин, В. М. Рыбин, В. И. Сивцов, Я. В. Слекеничс, А. И. Трофимов, Н. В. Фалдин. — Учебник в 3-х томах / Москва, 2000. Том 2 Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления.
4. Еременко, Ю. И. Об интеллектуальной адаптации параметров пид-регулятора для снижения энергопотребления управляемого процесса / Ю. И. Еременко, Д. А. Полещенко, А. И. Глущенко, Д. Ю. Ярмуратий. — Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2013. № 22 (165). С. 210–217.
5. Гринкруг М.С., Казаков М. Ю. Исследование режимов горения твердотопливных котлов малой производительности с периодической загрузкой топлива. — Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. С. 11–16.
6. Еременко, Ю.И., Полещенко, Д.А., Глущенко, А.И. Анализ методов реализации схемы нейросетевого управления с самонастройкой / Ю.И. Еременко, Д. А. Полещенко, А. И. Глущенко // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. — 2012. — № 6. С. 50–55.
7. Еременко, Ю.И., Полещенко, Д.А., Глущенко, А.И. К вопросу о совершенствовании схемы ПИД-нейрорегулятора с самонастройкой / Ю.И. Еременко, Д. А. Полещенко, А. И. Глущенко // Системы управления и информационные технологии. — 2012. — № 4(50). С. 27–31.
8. Еременко, Ю.И., Полещенко, Д.А., Глущенко, А.И. Об условиях применения ПИДнейрорегулятора для управления объектами, описываемыми аperiодическим звеном второго порядка с запаздыванием / Ю.И. Еременко, Д. А. Полещенко, А. И. Глущенко // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. — 2013. — № 6. С. 39–45.
9. Капалин, В.И., Витохин, И.В., Нгуен Дун Чинь, Нгуен Нгок Хуэ Нейросетевое моделирование систем управления // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. — 2009. — № 9. — вып. 11/1. С. 87–92.
10. Improving Performance of PID Controller Using Artificial Neural Network for Disturbance Rejection of High Pressure Steam Temperature Control in Industrial Boiler By: Nazaruddin, Yul Yunazwin; Aziz, Abdullah Nur; Priatna, Oktaf // Conference: International Conference on Control, Automation and Systems Location: Seoul, South Korea Date: oct 14–17, 2008 International conference on control, automation and systems, vols 1–4 Pages: 1041–1044 Published: 2008
11. Model classification applied to the autotuning of industrial proportional-integral-derivative regulators / Leva, A; Piroddi, L // Industrial & engineering chemistry research. Volume: 43 Issue: 21 Pages: 6787–6796 Published: OCT 13 2004.
12. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования, М. — 1971.
13. Гудим А.С., Зайченко И. В., Соловьев В. А. Нечеткие алгоритмы компенсации нелинейностей САУ // Информатика и системы управления. 2005. № 2 (10). С. 89–101.
14. Патент РФ № RU2289154 от 10.12.2006. Способ автоматического управления и следящая система для его осуществления / Зайченко И. В., Горячев В. Ф., Гудим А. С., Соловьев В. А.
15. Патент РФ № RU2289154 от 10.12.2006. Способ автоматического управления и следящая система для его осуществления / Зайченко И. В., Горячев В. Ф., Гудим А. С., Соловьев В. А.
16. Патент РФ № RU2289154 от 10.12.2006. Способ компенсации статических нелинейностей / Зайченко И. В., Горячев В. Ф., Гудим А. С., Соловьев В. А.
17. Solovev D.B., Gorkavyu M. A. Current transformers: transfer functions, frequency response, and static measurement error // 2019 International science and technology conference “Eastconf”, Eastconf 2019, p. 8725351

© Гордин Сергей Александрович (gordin@knastu.ru), Зайченко Илья Владимирович (zaychenko@inbox.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»