

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОПКОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Гавриленко Б.В., канд. техн. наук, доц., Неежмаков С.В., асс.,
Донецкий национальный технический университет

Выполнен анализ существующей системы автоматизированного управления топкой низкотемпературного кипящего слоя. Обоснована усовершенствованная структура двухконтурной системы управления.

The analysis of the existing automatic control system of the low temperature air-fluidized bed furnace takes place. The improved structure of the two-loops control system is grounded.

Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из эффективных способов решения актуальной проблемы экономии топливных ресурсов является использование нетрадиционных технологий, таких, как сжигание высокозольного твердого топлива в низкотемпературном кипящем слое (НТКС). В частности, топка НТКС может быть использована как источник теплоносителя для автономного газоздушного воздухоподогревателя, предназначенного для обогрева ствола шахты в зимний период [1]. Одним из сдерживающих факторов внедрения подобных установок является несовершенство системы автоматизированного управления данным технологическим объектом. Предметом исследования являются динамические свойства существующей системы управления и ее совершенствование.

Состояние вопроса и анализ основных исследований. Структура эксплуатируемой в настоящее время системы автоматизации топок НТКС представляет собой ряд обособленных контуров управления, выполненных на основе относительно низкоэффективных регуляторов типа P-25 [2]. При постоянных параметрах сжигаемого топлива (зольности, крупности, влажности) система работает устойчиво. При использовании угля из разных источников возникает проблема адаптации настроечных коэффициентов регулятора по контуру «топливо», так как управление температурой кипящего слоя только изменением подачи угля имеет ограниченные возможности [3].

Цель исследований и задачи. Целью работы является совершенствование системы автоматизированного управления топкой низкотемпературного кипящего слоя на основе использования взаимосвязанных контуров с решением следующих задач:

- анализ качества существующей системы управления;
- синтез и обоснование параметров двухконтурной системы управления.

Изложение основного материала. При рассмотрении топки НТКС как объекта автоматизации практический интерес представляют динамические свойства системы. При традиционном подходе к рассмотрению данного вопроса скорость отклика объекта на динамические возмущения описывается уравнением теплового баланса [4]:

$$\frac{dT_s}{dt} S_s \rho_s c_s H = j_T Q_T S_s (1 - q_3 - q_4) - S_s \rho_g c_g U_o (T_s - T_o) - I_3 - I_l, \quad (1)$$

- где
- c_g, c_s – теплоемкость газа и материала слоя;
 - ρ_g, ρ_s – плотность газа и насыпная плотность материала слоя;
 - S_s – площадь зеркала горения;
 - H_s – высота слоя;
 - T_s, T_o – температура слоя и газа;
 - Q_T – теплота сгорания топлива;
 - j_T – расход топлива на 1 м² площади зеркала горения, (кг/м²*с);
 - U_o – скорость газа через слой;
 - q_3, q_4 – доля химического и механического недожега;
 - I_3, I_l – потери теплоты с отводимой золой и излучением, что соответствует апериодическому звену первого порядка.

Из анализа математической модели, произведенного в [5], следует необходимость дополнения рассмотренного апериодического звена звеном запаздывания, в результате чего передаточная функция топki по контуру «топливо» имеет вид:

$$W(p) = \frac{K}{pTs + 1} e^{-p\tau}, \quad (2)$$

где K – передаточный коэффициент кипящего слоя по контуру «топливо»;

τ – время запаздывания.

Передаточная функция термопары имеет вид:

$$W_i(p) = \frac{1}{pTt + 1} \quad (3)$$

Постоянная времени термопары $Tt=120$ сек. Структурная схема существующей системы управления температурой кипящего слоя представлена на рис. 1. В реальных условиях эксплуатации агрегата передаточный коэффициент может находиться в пределах $2 \geq K \geq 0.5$ (при изменении зольности топлива от 20% до 80%), а время запаздывания – $200 \geq \tau \geq 20$ сек (при изменении крупности от 1 до 13 мм).

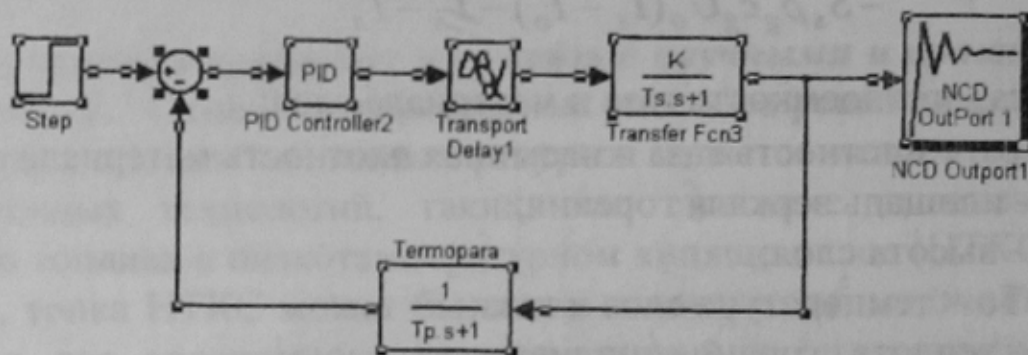


Рисунок 1 – Структура одноконтурной системы управления

В схеме используется ПИД-регулятор с передаточной функцией вида $R(s) = K_p + K_i/s + K_d s$. Постановка задачи оптимизации в данном случае предполагает при заданных структуре объекта управления и неопределенностях его параметров поиск коэффициентов K_p , K_i и K_d регулятора, при которых в представленной замкнутой структуре переходный процесс будет иметь: максимальное перерегулирование — не более 20 %; время нарастания — не более 1000 с; длительность переходного процесса — не более 1600 с. Эта задача может быть решена средствами компьютерного моделирования. Начальные значения параметров выбраны в соответствии с методикой настройки ПИД-регуляторов Зиглера-Николса, согласно которой, коэффициенты K_i и K_d устанавливаются равными нулю, а коэффициент K_p увеличивается до тех пор, пока система не потеряет устойчивость. Пре-

дельное значение K_p обозначается, как K_u , а период автоколебаний — как P_u . Задаются следующие значения коэффициентов регулятора: $K_p = 3 \cdot K_u / 5$, $K_i = 6 \cdot K_u / (5 \cdot P_u)$, $K_d = 3 \cdot K_u \cdot P_u / 40$.

Определение параметров производится для робастного управления при любых значениях K и τ из указанных выше диапазонов. Однако как показывают результаты моделирования (рис. 2), уже при нахождении переменных в пределах $1.3 \geq K \geq 0.7$ и $90 \geq \tau \geq 30$ возможности по настройке ПИД-регулятора практически исчерпаны, и одноконтурная система управления температурой кипящего слоя теряет устойчивость на части диапазона используемых параметров топлива.

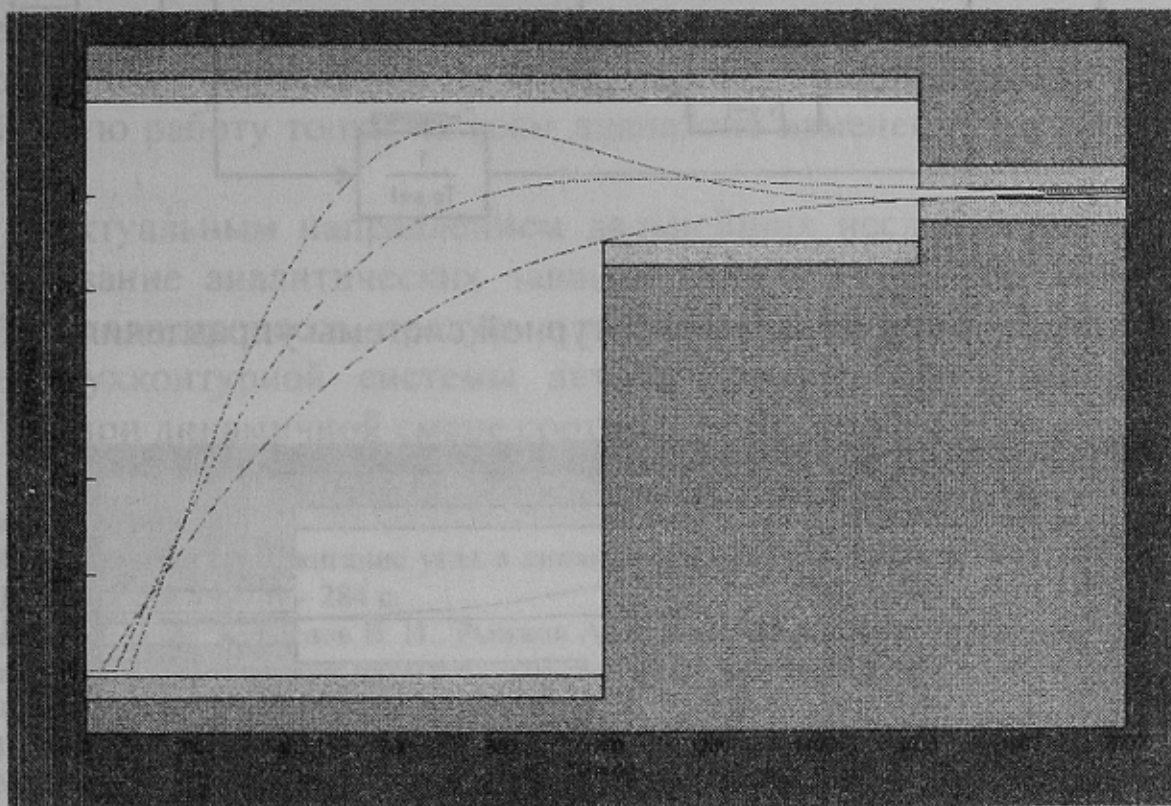


Рисунок 2 – Результаты моделирования одноконтурной системы управления

На основании изложенного, предлагается использовать двухконтурную систему управления температурой кипящего слоя с коррекцией по воздуху (рис. 3). Передаточная функция кипящего слоя по контуру «воздух» имеет вид:

$$W_v(p) = \frac{1}{pT_v + 1} \quad (4)$$

В системі відсутнє звено запізнення в даному контурі, що оказує позитивне вплив на її динамічні властивості. Скорегування контурів управління забезпечується введенням блоку Transfer Fcn1 [3] для посилення взаємозв'язи ПИД-регуляторів.

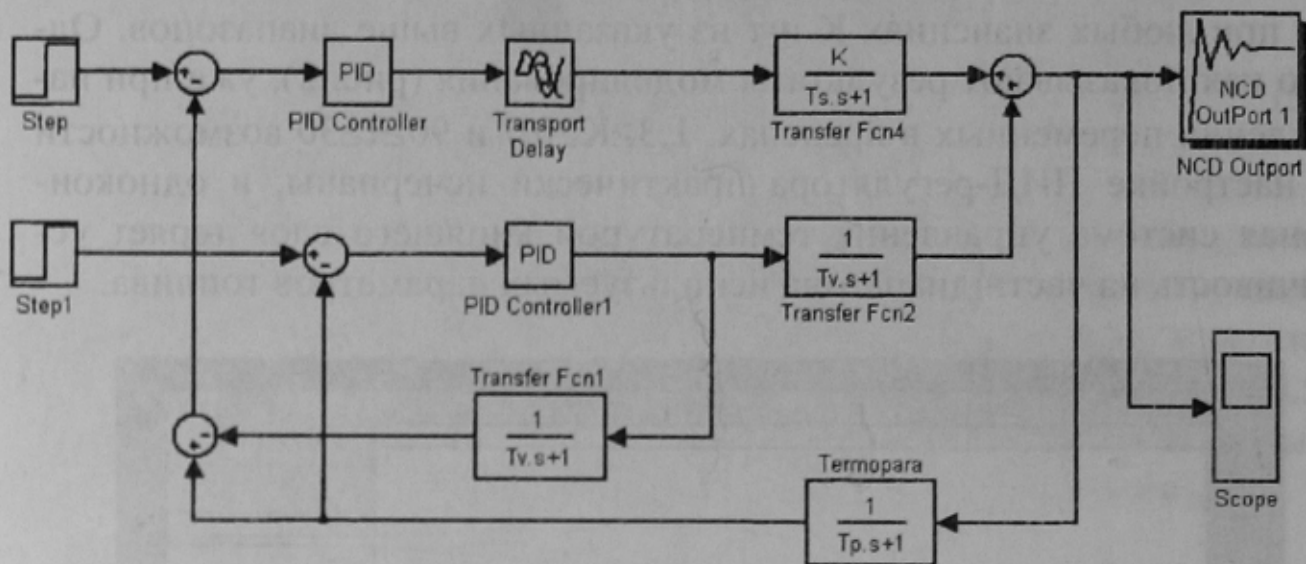


Рисунок 3 – Структура двухконтурной системы управления

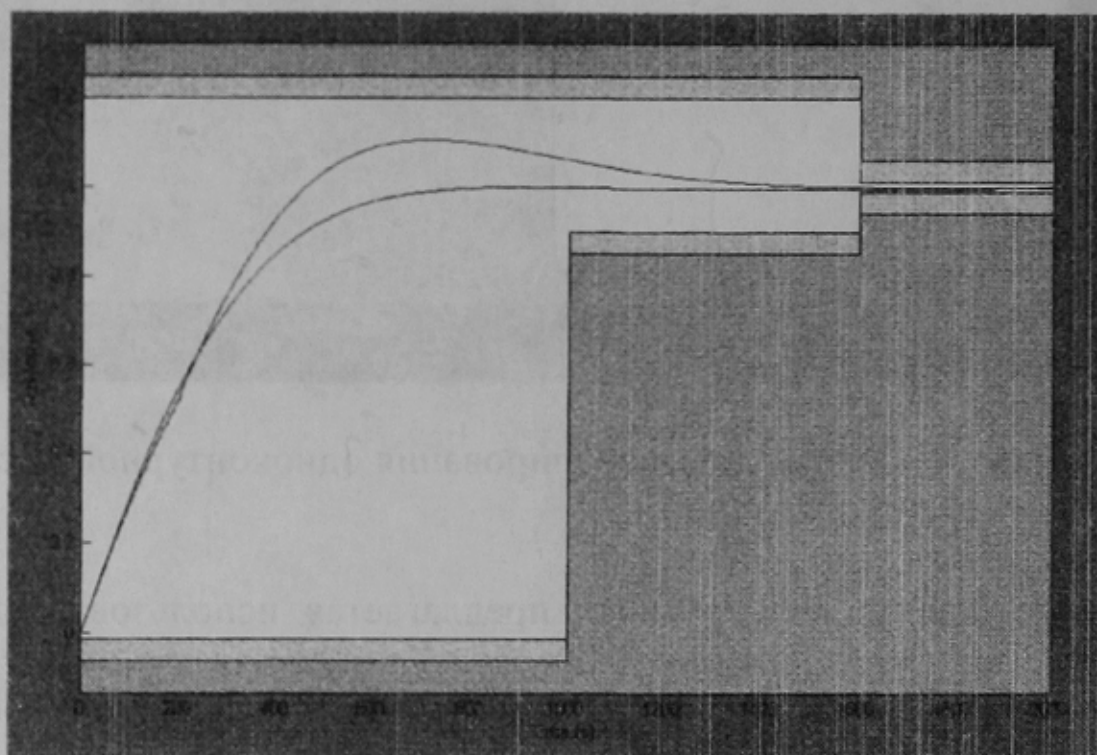


Рисунок 4 – Результаты моделирования двухконтурной системы управления

Первоначальная настройка параметров ПИД-регулятора по контуру «воздух» K_{pv} , K_{iv} и K_{dv} выполняется по методике, изложенной выше.

Результаты исследований. Как показывают результаты моделирования, приведенные на рис. 4, при нахождении переменных в пределах $2 \geq K \geq 0.5$ и $20 \geq \tau \geq 200$ возможности по настройке ПИД-регуляторов использованы лишь частично, при этом двухконтурная система управления температурой кипящего слоя обеспечивает устойчивость на всем диапазоне возможных параметров топлива.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведенные исследования показали целесообразность использования для управления температурой кипящего слоя двухконтурной системы управления с коррекцией по воздуху, что позволит осуществлять устойчивую работу топки на всем диапазоне изменения параметров топлива.

Актуальным направлением дальнейших исследований является обоснование аналитических зависимостей и структуры компьютерной модели процесса, предусматривающих эффективное использование двухконтурной системы автоматического управления топкой НТКС при динамичной смене сортности сжигаемого угля.

Список источников.

1. Ж.В. Вискин и др. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов. – Донецк: «Новый мир», 1997 г. – 284 с.
2. Батицкий В. А., Куроедов В. И., Рыжков А. А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности; Учеб. для техникумов.— М.: Недра, 1991.— 303 с: ил.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 541 с., ил.
4. Махорин К.Е., Хинкис П.А. Сжигание топлива в псевдоожигенном слое. –К.: Наукова думка, 1989. – 204 с.
5. Гавриленко Б.В., Неежмаков С.В. Математическая модель топки кипящего слоя шахтного автономного воздухоподогревателя в нестационарных условиях // Проблеми експлуатації обладнання шахтних установок: Збірник наукових праць. – 2005. – с. 297 – 304.