

УДК 622.48

Д.А. Гавриленко, Б.В. Гавриленко
Донецкий национальный технический университет,
кафедра горной электротехники и автоматики им. Р. М. Лейбова
E-mail: dimsdien@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РОЗЖИГОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Аннотация

Гавриленко Д.А., Гавриленко Б.В. Исследование динамических характеристик системы автоматического управления розжигом низкотемпературного кипящего слоя.

Разработана структура системы автоматического управления розжигом низкотемпературного кипящего слоя на основе нечеткой логики. Созданы базы правил нечетких регуляторов контуров управления. Обоснована структура имитационной модели процесса розжига котла и исследованы динамические характеристики.

Ключевые слова: управление, кипящий слой, розжиг, моделирование, нечеткая логика, функция принадлежности, фаззификация, дефаззификация, регулятор.

Общая постановка проблемы.

Современное состояние вычислительной техники позволяет создавать надежные и эффективные системы управления. Однако, существующие в настоящее время регуляторы не всегда могут реализовать возложенные на них задачи управления. Для подавляющего большинства как искусственных, так и естественных объектов управления, которыми необходимо управлять, построение точных математических моделей практически невозможно ввиду их плохой формализуемости.

Стратегия управления, используемая оператором (экспертом), в большинстве случаев может быть сформулирована как набор правил, которые просто выполнить человеку, но трудно формализовать с помощью обычных алгоритмов. Это возникает из-за того, что оператор чаще всего пользуется качественными, а не количественными оценками при описании условий принятия конкретных решений.

Динамика технологического процесса розжига низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) описывается сложным математическим аппаратом с большим количеством переменных величин, учесть влияние которых достаточно сложно, а иногда и вообще невозможно, из-за изменений во времени случайным образом, в пределах соответствующих диапазонов и режимов работы.

Анализ последних исследований.

Управление подобными объектами может осуществляться на основе информации, полученной в процессе работы и личного опыта оператора. Для эффективного управления такими плохо формализованными процессами могут служить регуляторы, построенные на основе теории нечеткой логики [1].

Основное преимущество нечетких моделей по сравнению с традиционными математическими моделями связано с возможностью использования для их разработки значительно меньших объемов информации о системе, при этом информация может носить приближенный, нечеткий характер. Важнейшим и наиболее часто используемым типом нечеткой модели является модель Мамдани. Концепция лингвистической нечеткой модели, воспроизводящей человеческий образ мышления, была предложена в первых работах Л. Заде

[2]. Идея применения данной концепции в нечеткого управления динамическими объектами принадлежит Мамдани [3]. В рамках метода Мамдани, система которая моделируется, рассматривается как черный ящик, который характеризуется недостаточностью информации о физических явлениях, которые происходят внутри.

Постановка задачи.

Целью работы является исследование системы автоматического управления розжигом низкотемпературного кипящего слоя с использованием аппарата нечеткой логики.

Изложение основного материала исследований.

С целью упрощения построения нечеткой модели, ее структура разбита на две подсистемы: Fuzzy Logic Controller toplivo — регулятор контура подачи топлива и Fuzzy Logic Controller PFS — регулятор плазменно-топливной системы (ПТС) (рис. 1).

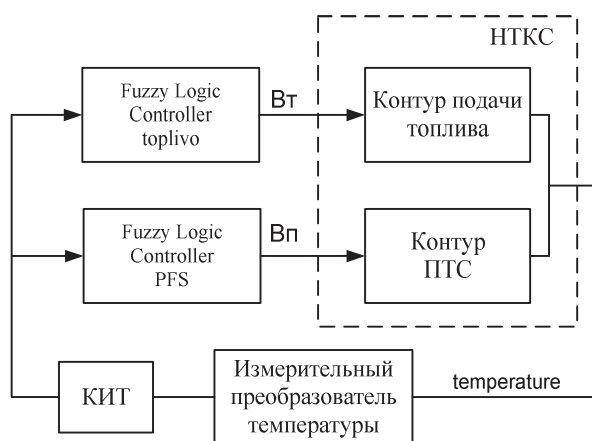


Рисунок 1 — Упрощенная структура САУ управления розжигом НТКС

Для компенсации инерционности при измерении температуры в систему введено последовательное корректирующее устройство (КИТ) на основе ПД-регулятора, а в качестве измерительного преобразователя температуры принят термоэлектрический преобразователь.

При настройке фазсификации с целью обеспечения требуемого режима работы ППС, для входной переменной temperature контура разработаны функции принадлежности, параметры которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Термы переменной temperature контура ПТС

Терм	Нотация	Тип функции принадлежности	Параметры
P	Режим прогрева и пуска ПТС	Гаусса	[35 100]
R	Разгонный пуск	Гаусса	[70 320]
NOM	Номинальный режим	Асимметричная Гаусса	[95 660 26 695]
ot	Режим прекращения работы ПТС	Гаусса	[30 760]
fotk	Полное отключение ППС	Сигмовидная	[700 800]

На основании параметров функций принадлежности табл. 1 в Membership Function Editor [4] программной среды Matlab созданы функции принадлежности для переменной temperature контура ПТС (рис. 2).

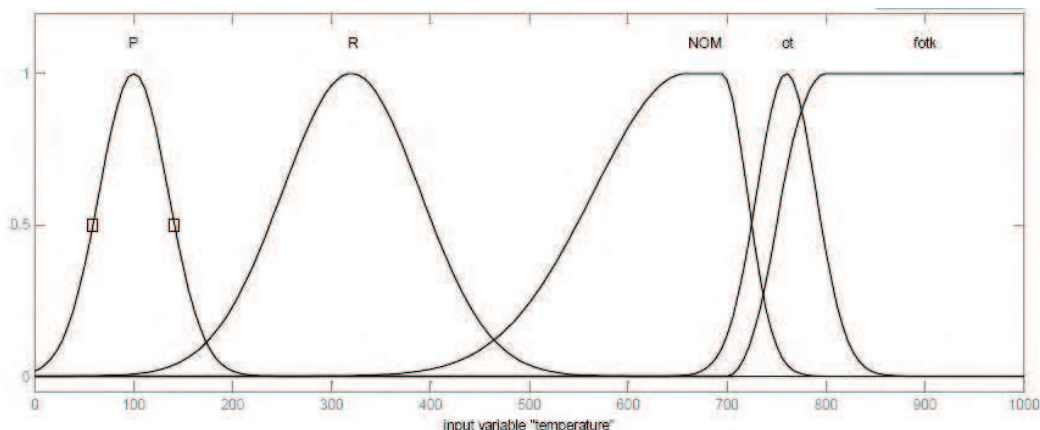


Рисунок 2 — Функции принадлежности входной лингвистической переменной temperature контура ПТС

Температурная карта пускового режима котла для контура подачи топлива разбита на характерные интервалы (табл. 2).

Таблица 2 — Термы переменной temperature контура подачи топлива в топку

Терм	Нотация	Тип функции принадлежности	Параметры
Z	Работа только ПТС	Z-образная функция	[450 470]
SP	Малый пуск	Гаусса	[25 500]
P	Пуск	Гаусса	[25 590]
LP	Большой пуск	Гаусса	[25 675]
SN	Малая номинальная температура	Гаусса	[25 850]
N	Номинальная температура	Гаусса	[10 900]
LN	Большая номинальна температура	Сигмовидная	[10 920]

На основании табл. 2 в Membership Function Editor (MFE) программной среды MatLab созданы функции принадлежности входной переменной для контура подачи топлива в топку (рис. 3).

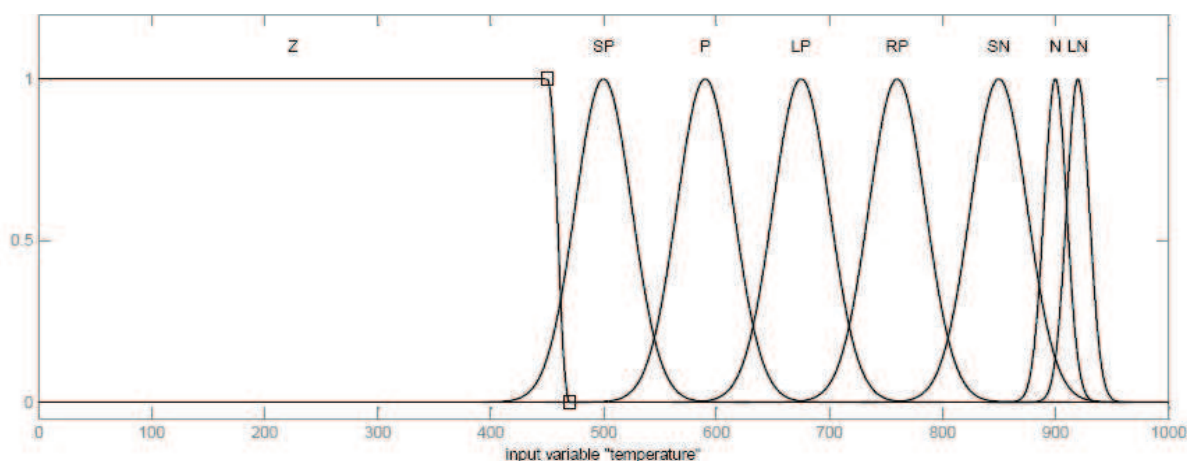


Рисунок 3 — Функции принадлежности входной переменной temperature контура подачи топлива

Операция дефаззификации реализована методом центра тяжести. Для обеспечения плавного пуска и отключения ПТС разработаны параметры функций принадлежности выходной переменной V_{Π} (табл. 3):

Таблица 3 — Термы лингвистической переменной V_{Π} контура ПТС

Термы	Нотация	Тип функции принадлежности	Параметры
Fotk	Полное прекращение подачи	треугольная	[0 0 0]
otk	Режим отключение ПТС	треугольная	[0,001 0,03 0,07]
P	Пусковой минимальный	треугольная	[0,03 0,08 0,15]
NOM	Номинальный	треугольная	[0,1 0,36 0,44]
start	Стартовый	треугольная	[0,36 0,43 0,49]

С использованием параметров табл. 3 в MFE программной среды Matlab созданы функции принадлежности выходной переменной контура расхода угольной пыли в ПТС (рис. 4).

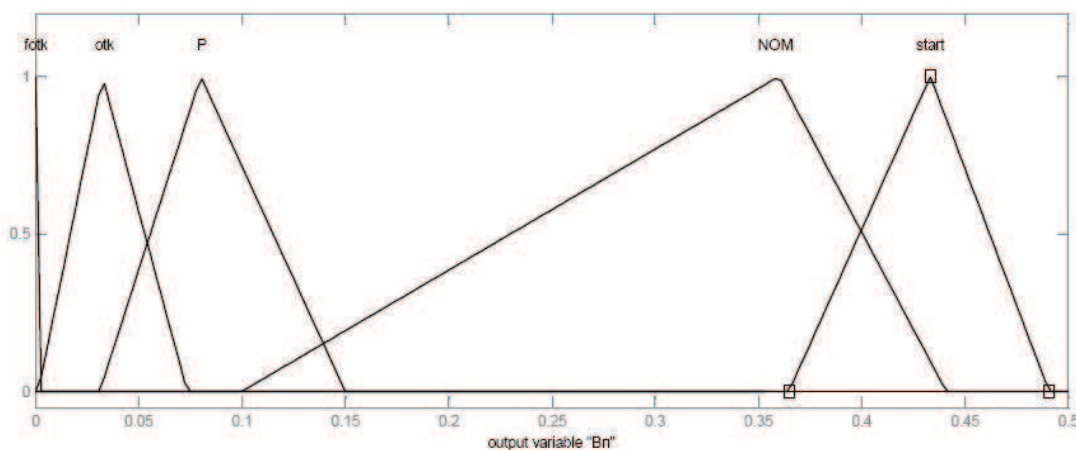


Рисунок 4 — Функции принадлежности выходной переменной V_{Π} контура ПТС

Разработаны функции принадлежности выходной лингвистической переменной V_T контура подачи топлива в топочное пространство котла (таблица 4).

Таблица 4 — Термы переменной V_T контура подачи топлива

Терм	Нотация	Тип функции принадлежности	Параметры
Z	Полное отключение	треугольная	[0 0 0]
PB	Минимальный пусковой	треугольная	[0,01 0,05 0,12]
LPB	Большой пусковой	треугольная	[0,08 0,2 0,35]
RB	Разгонный	треугольная	[0,25 0,35 0,45]
SNB	Малый номинальный	треугольная	[0,36 0,45 0,54]
NB	Номинальный	треугольная	[0,48 0,54 0,6]
LNB	Большой номинальный	треугольная	[0,55 0,63 0,7]

На основании полученных параметров (таблица 4) в программной среде Matlab созданы функции принадлежности выходной переменной контура подачи топлива (рис. 5).

Проблема создания базы правил представляет одну из ключевых задач при построении нечеткого регулятора. Для ее решения используются методы интервьюирования опытного оператора, фиксирование решений, принятых оператором в различных ситуациях или отслеживание желаемой траектории управления. В работе принята стратегия построения

системы управления динамическим объектом на основе естественно-языковых экспертных высказываний.

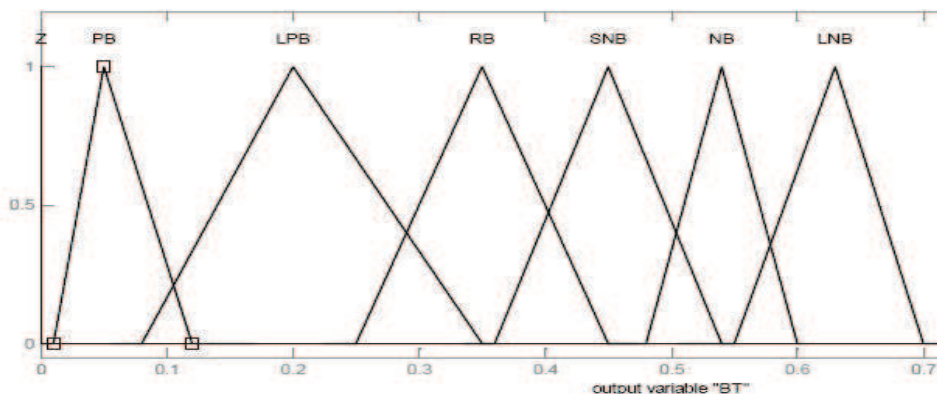


Рисунок 5 — Функции принадлежности выходной переменной V_T

Для управления контуром подачи топлива разработана база правил регулятора контура подачи топлива (таблица 5).

Таблица 5 — База правил регулятора контура подачи топлива в топку

№	Правило	Описание
1	ЕСЛИ “temperature = Z” ТО “ $V_T = Z$ ”	Если температура не достигла 450^0C , то расход топлива равен нулю
2	ЕСЛИ “temperature = SP” ТО “ $V_T = PB$ ”	Если температура находится в области «малого пуска», то установит минимальный пусковой расход
3	ЕСЛИ “temperature = P” ТО “ $V_T = LPB$ ”;	Если температура находится в диапазоне «пуска», то расход равен «большому пусковому»
4	ЕСЛИ “temperature = LP” ТО “ $V_T = RB$ ”	Если температура находится в области «большого пуска», то установит расход равный «разгонному»
5	ЕСЛИ “temperature = RP” ТО “ $V_T = SNB$ ”	Если температура находится в области «разгонного пуска», то установит расход равный «малому номинальному»
6	ЕСЛИ “temperature = SN” ТО “ $V_T = LNB$ ”;	Если температура находится в области «малой номинальной», то расход равен «большому номинальному»
7	ЕСЛИ “temperature = N” ТО “ $V_T = NB$ ”	Если температура находится в области номинальной, то расход равен «номинальному»
8	ЕСЛИ “temperature = LN” ТО “ $V_T = SNB$ ”	Если температура находится в области «большей номинальной», то установит расход равный «малому номинальному».

С использованием нечетких регуляторов в пакете Simulink разработана имитационная модель управления процессом розжига НТКС (рис. 6). Для учета временной задержки, вызванной прогревом и воспламенением топливных частичек, в модель введен блок *gazogrev*, а время прогрева принято $t_{\text{раз}} = 15\text{с}$. Количество теплоты, вносимое в слой псевдоожижающим воздухом Q_v с учетом множителей теплового баланса $S_{ca} \cdot U_0 \cdot \rho_g \cdot c_g$ реализовано блоками *tvozduch* и *gain*. Теплота, получаемая от сгорания топлива, задается блоком *teplota*. Недожог определяется вычитанием из располагаемой теплоты топлива соответствующей доли химической и механической неполноты сгорания (блоки *him* и *mech*). Количество теплоты, уходящей с продуктами сгорания топлива определяется в блоке *pr.sgog*. Для оценки теплоты, уходящей со шлаком, в модель введен блок *shlack*. Теплота,

отводимая поверхностями нагрева от кипящего слоя $Q_{пов}$, задается в блоке температуры теплоносителя $t_{вода}$, а множители $h_{\omega} \cdot S_{\omega}$ и $c_s \cdot \rho_p \cdot S_{ct} \cdot H$ уравнения теплового баланса реализованы соответственно в блоках $HwSw$ и $SpсH$.

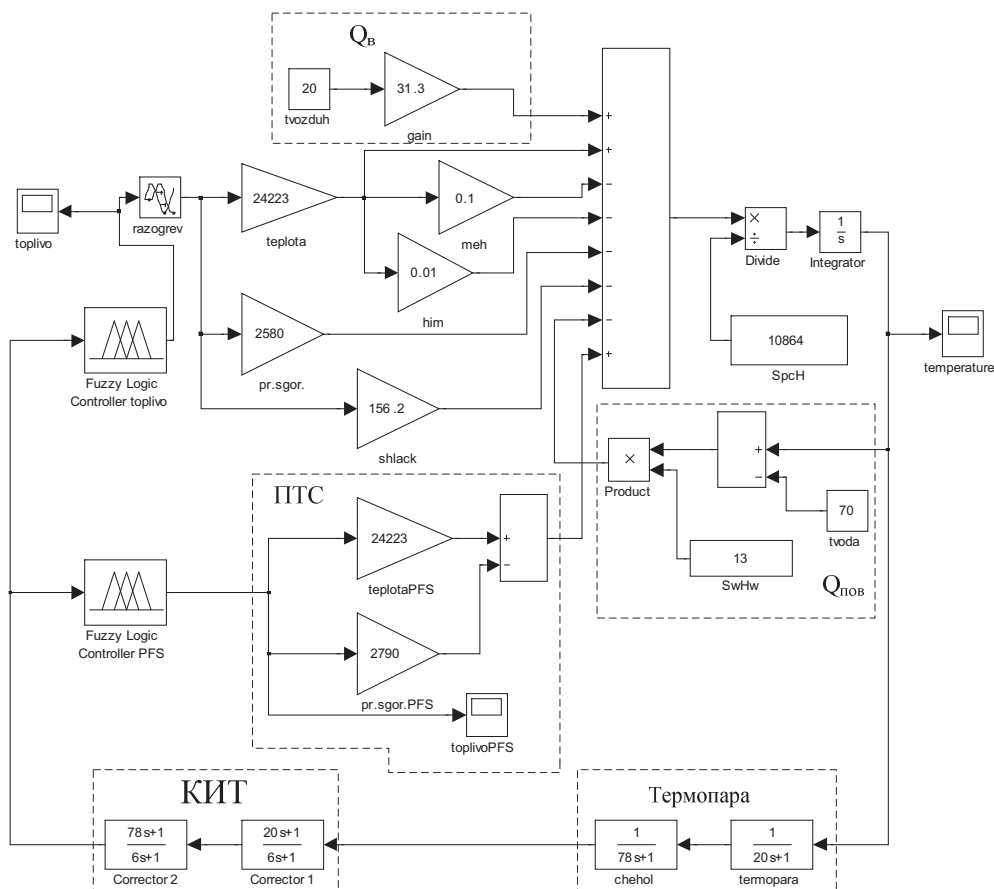


Рисунок 6 — Структура САУ розжигом НТКС

Для управления контуром ПТС при розжиге котла разработана база правил нечеткого регулятора (таблица 6).

Таблица 6 — База правил нечеткого регулятора контура ПТС

№	Правило	Описание
1	ЕСЛИ “temperature = P” ТО “ $V_{П} = P$ ”	Если температура находится в диапазоне «пуска» то расход угольной пыли установить равным «пусковому»
2	ЕСЛИ “temperature = R” ТО “ $V_{П} = star$ ”;	Если температура находится в области «разгонного пуска», то расход топлива установить равным «стартовому»
3	ЕСЛИ “temperature = NOM” ТО “ $V_{П} = NOM$ ”	Если температура лежит в интервале «номинальной», то расход топлива равен «номинальному»
4	ЕСЛИ “temperature = ot” ТО “ $V_{П} = otk$ ”;	Если температура находится в диапазоне «отключение» (режим прекращения работы ПТС), то расход топлива установить равной «режиму отключения»
5	ЕСЛИ “temperature = fotk” ТО “ $V_{П} = fotk$ ”;	Если температура находится в области «полного отключения» ПТС, то прекратить подачу топлива

При исследовании динамических характеристик НТКС и синтезе системы автоматического управления розжигом котла получен график изменения температуры

кипящего слоя (рис.7), а нечеткими регуляторами сгенерированы подача твердого топлива в топочное пространство (рис.8) и расход угольной пыли в ПТС при розжиге топки (рис.9).

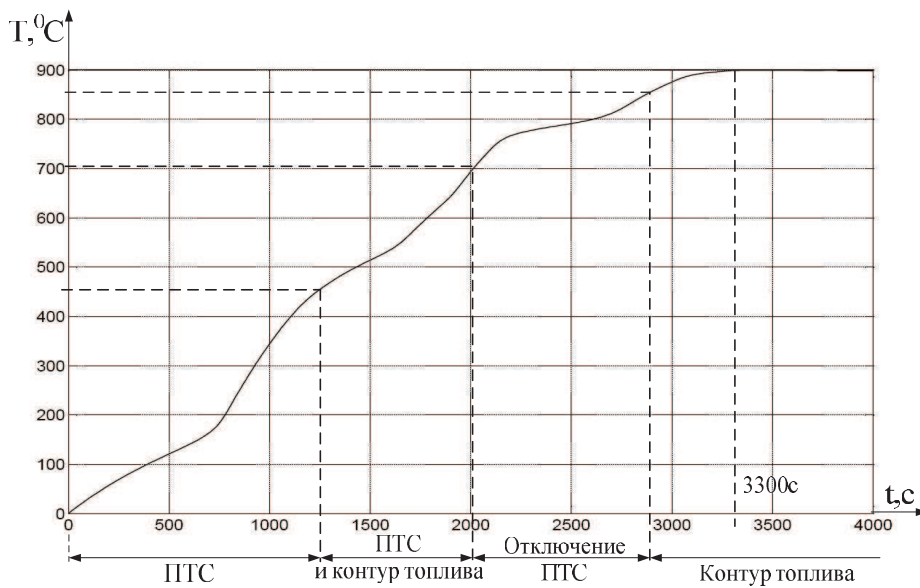


Рисунок 7 — Изменение температуры кипящего слоя при розжиге

Установлено, что НТКС разогревается до установившегося значения температуры $900\text{ }^\circ\text{C}$ на протяжении 3300 с, что не превышает нормативного значения 0,7 – 1,3 ч.

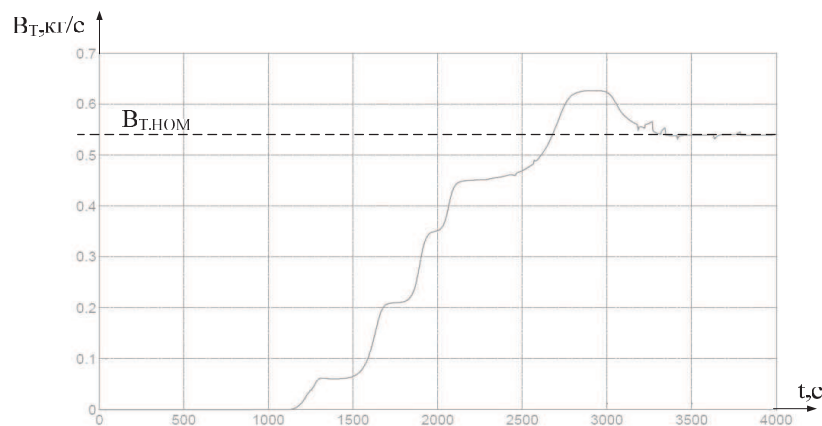


Рисунок 8 — Изменение подачи твердого топлива в топочное пространство

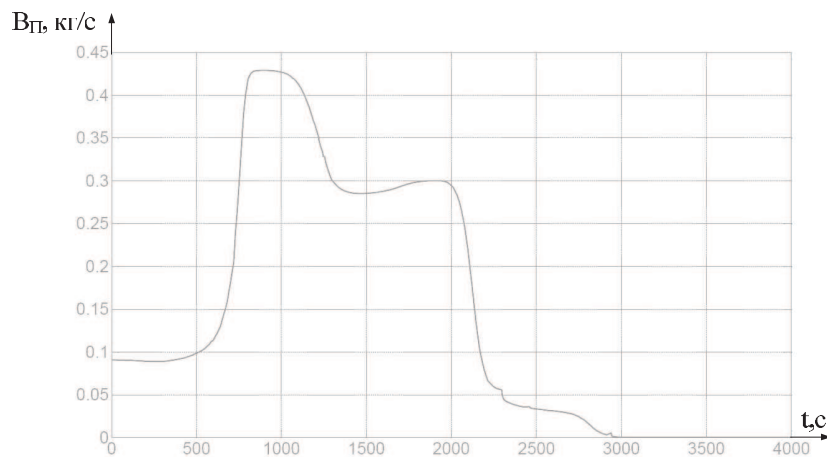


Рисунок 9 — Изменение расхода угольной пыли в ПТС

Выводы.

С использованием аппарата нечеткой логики разработана структура системы автоматического управления розжигом котла НТКС, учитывающая совместную работу контуров плазменно-топливной системы и подачи топлива в топочное пространство. При исследовании процесса розжига НТКС, с учетом его технологических особенностей и режимов работы, произведена настройка нечетких моделей контура плазменно-топливной системы и контура подачи топлива. Созданы базы правил регуляторов нечеткой логики и реализованы операции фаззификации и дефаззификации.

Получены динамические характеристики процесса розжига котла. Установлено, что при использовании ПТС для разогрева НТКС и соответствующей настройке нечетких регуляторов, время разогрева слоя до установившегося значения температуры 900 °С не превышает 3300 с, что соответствует нормативным значениям. Для поддержания требуемой температурной карты розжига котла и соблюдения необходимого соотношения расходов топлива в ПТС и топочном пространстве получены кривые отклика нечетких регуляторов.

Литература

1. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ / БИНОМ. Лаборатория знаний Адаптивные и интеллектуальные системы. - 2009. — 798 с.: ил.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets/Information and control,—1965 vol. 8, pp. 338–353.
3. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. — 1975. —Vol. 7. №1. — P.1–13
4. Леонков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леонков. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.: ил.

Надійшла до редакції:
17.02.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф. Кравцов В.В.

Abstract

D. Gavrilenko, B. Gavrilenko. Research dynamical characteristics system for automatic control of ignition for bubbling fluidized bed. Automatic control system for ignition of bubbling fluidized bed was development used fuzzy logic. Established rules base of fuzzy regulator. Structure of simulation model for ignition bubbling fluidized bed was validated and research dynamical characteristics.

Keywords: control, fluidized bed, ignition, simulation, fuzzy logic, membership function, fuzzification, defuzzification, fuzzy control.

Анотація

Гавриленко Д.А., Гавриленко Б.В. Дослідження динамічних характеристик системи автоматичного управління розпалом низькотемпературного киплячого шару. Розроблено структуру системи автоматичного управління розпалом низькотемпературного киплячого шару на основі нечіткої логіки. Створені бази правил нечітких регуляторів контурів управління. Обґрунтована структура імітаційної моделі процесу розпалу котла і досліджені динамічні характеристики.

Ключові слова: управління, киплячий шар, розпал, моделювання, нечітка логіка, функція належності, фаззифікація, дефаззифікація, нечіткий регулятор.

© Гавриленко Д.А., Гавриленко Б.В., 2011