

НЕЧІТКІ РЕГУЛЯТОРИ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРАМИ БАГАТОКОНТУРНИХ ПІРОЛІЗНИХ УСТАНОВОК

УДК 681.5

КОНДРАТЕНКО Юрій Пантелійович

д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем
Чорноморського державного університету ім. П.Могили.

Наукові інтереси: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, інформаційні технології, системи автоматичного керування, комп'ютерні системи та компоненти, нечітка логіка.

e-mail: y_kondrat2002@yahoo.com; y_kondratenko@rambler.ru

КОЗЛОВ Олексій Валерійович

аспірант кафедри комп'ютеризованих систем управління
Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова.

Наукові інтереси: автоматизація процесів керування, інформаційні технології, інтелектуальні регулятори.

e-mail: kozlov_ov@ukr.net; oleksiy.kozlov@nuos.edu.ua

ВСТУП

Керування піролізними установками та їх реакторами є однією з складних і важливих задач автоматизації теплоенергетичних технологічних процесів і технологічних піролізних комплексів. Зокрема, при проектуванні систем автоматичного керування (САК) температурою нагріву реакторів багатоконтурної піролізної установки (БПУ) необхідно враховувати, що температура реактора БПУ безперервно змінюється під дією збурювальних факторів (теплообмін реактора з багатоконтурною циркуляційною системою (БЦС) і зовнішнім середовищем, вплив фізичних та хімічних процесів, що проходять всередині реактора та в БЦС та ін.). Система керування температурою повинна компенсувати вплив збурювальних факторів таким чином, щоб забезпечити постійне значення температури нагріву реактора, що відповідає усталеному режиму роботи БПУ [1]. Оскільки значення збурювальних впливів постійно змінюються, то система керування температурою повинна забезпечувати регулювання потужності нагрівального пристрою реактора БПУ.

Аналіз алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування і реалізації систем керування температурою нагріву реактора БПУ показує доцільність використання принципів нечіткого управління, що спираються на теорію нечітких множин та нечітку логіку [2, 3, 4]. Системи керування, що базуються на нечіткій логіці, розроблені й успішно впроваджені в таких областях, як: керування технологічними процесами, керування транспортом, медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, біржове прогнозування, розпізнавання образів та ін. [5, 6, 7]. Так, в ряді моделей кондиціонерів концерну Mitsubishi Heavy Industries для створення найбільш сприятливого клімату використовується спосіб, який отримав назву «нейротехнологія та нечітка логіка» (Neuro&Fuzzylogic) [8]. Іншим прикладом використання нечіткої логіки є система керування світлофором [9], в якій вхідні та вихідні сигнали (кількість машин, середня швидкість на вулиці, середня відстань до перехрестя та час горіння зеленого світла) описуються нечіткими термами. Відомі також нечітка система керування автономною фотовітребенергетичною системою (ФВЕС) [10], модель перевернутого маят-

ника [11], нечіткі контролери [12] та багато інших приладів та систем, що використовують нечітку логіку.

Метою даної статі є розробка системи автоматичного керування температурою нагріву реактора багатоконтурної піролізної установки на базі нечіткої логіки та проведення аналізу показників якості систем управління, синтезованих на основі нечітких та традиційного ПД-регуляторів.

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА БПУ

Функціональна схема системи керування температурою нагріву реактора БПУ представлена на рис. 1. Задане значення температури нагріву реактора $T_{ЗР}$ встановлюється на задавальному пристрої ЗП. За допо-

могою суматора сигнал з задавального пристрою $u_{ЗП}$ порівнюється з сигналом $u_{ДТ}$ від датчика температури ДТ і при цьому обчислюється помилка керування ϵ . В свою чергу сигнал $u_{ДТ}$ відповідає дійсному значенню температури нагріву реактора $T_{ДР}$. Регулятор температури РТ виробляє керувальний сигнал $u_{РТ}$, який подається на лінійний регулятор витрати газу ЛРВ. ЛРВ, в свою чергу, являє собою газовий вентиль з сервоприводом постійного струму і має лінійну характеристику залежності витрати газу від вхідної напруги. На вхід ЛРВ подається сигнал постійної напруги (від 0 до 10 В), якому відповідає значення витрати газу $Q_{Г}$, що подається на газовий пальник ГП. Відповідне значення потужності $P_{ГП}$ газового пальника забезпечує нагрівання реактора, що функціонує в умовах дії збурення $f(t)$.

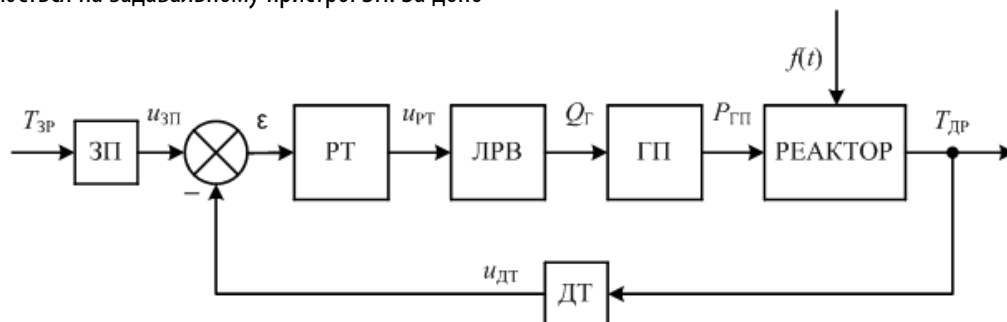


Рисунок 1 – Функціональна схема регулювання температури нагріву реактора

При відхиленні дійсного значення температури нагріву реактора $T_{ДР}$ від заданого значення $T_{ЗР}$ регулятор температури (згідно з законом керування) виробляє керувальний сигнал $u_{РТ}$, що змінює витрати газу і відповідну потужність газового пальника, які забезпечують відповідне нагрівання реактора.

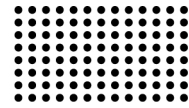
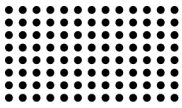
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА БПУ

При моделюванні реактора БПУ, вхідним керуючим впливом якого є підведена потужність нагрівальної установки, а вихідним сигналом – температура нагріву, можна використати типову передаточну функцію теплоенергетичних об'єктів керування, що складається з пропорційної ланки, аперіодичної ланки, ланки запізнення та інерційної ланки n -го порядку [13]

$$W_{ок}(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)} = \frac{ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)^n}, \quad (1)$$

де $W_{ок}(p)$ – передаточна функція об'єкта керування; $U_{вих}(p)$ – зображення керованої координати $U_{вих}(t)$ (температури нагріву реактора); $U_{вх}(p)$ – зображення керувального впливу $U_{вх}(t)$ (теплової потужності, що виділяє пальник); k – коефіцієнт підсилення; τ – час запізнення; T_1, T_2 – сталі часу аперіодичної та інерційної ланок, відповідно.

Перехідна характеристика $h(t)$ та інші динамічні характеристики узагальненого теплоенергетичного об'єкту [13, 14, 15] з передаточною функцією (1) наведені на рис. 2, де прийняті наступні позначення: $h(t)$ – перехідна характеристика об'єкта керування, яка отримана експериментальним шляхом; $h''(t)$ – характер другої похідної перехідної характеристики $h(t)$; $h(t_n)$ – значення перехідної характеристики в момент перегину; $h_{уст}$ – усталене значення перехідної характеристики



ки; T_0 і τ_0 – стала часу і запізнення, що визначаються з графіку експериментальної перехідної характеристики.

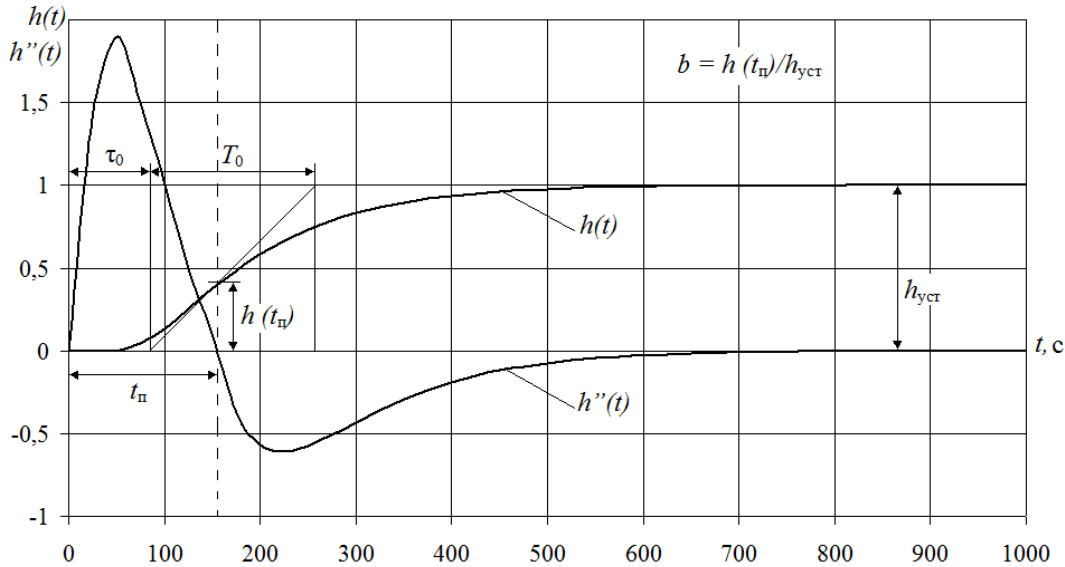


Рисунок 2 – Перехідна характеристика узагальненого теплоенергетичного об'єкта

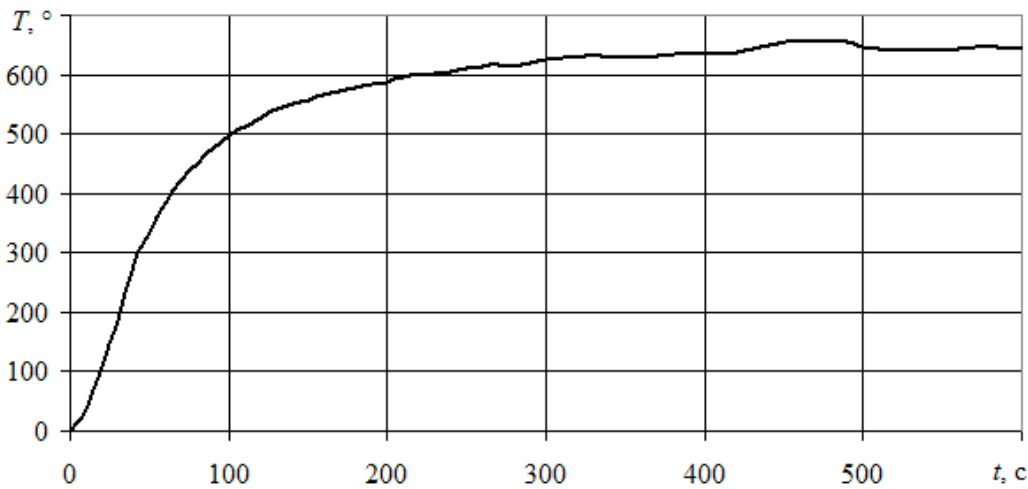


Рисунок 3 – Експериментальна перехідна характеристика нагріву реактора БПУ

Задача синтезу математичної моделі реактора БПУ зводиться до ідентифікації параметрів передаточної функції (1) і порядку інерційної ланки n .

Розглянемо алгоритм структурно-параметричної ідентифікації вищенаведеної математичної моделі з застосуванням методів нелінійного програмування, зокрема градієнтних методів оптимізації [16], а також на основі ідентифікації структури і параметрів складних нестационарних об'єктів керування, розглянутих в [14, 17].

Постановка задачі нелінійного програмування припускає вибір цільової функції, визначення множини

параметрів, які оптимізуються, та множини обмежень, а також формування первинної гіпотези про оптимальні значення параметрів.

В якості цільової функції пропонується використання квадратичного інтегрального функціонала відхилення експериментальної передаточної функції $h(t)$ від ідентифікованої апроксимуючої передаточної функції $h_a(t)$

$$I[h_a(t), h(t)] = \int_0^{T_{\max}} (h_a(t) - h(t))^2 dt. \quad (2)$$

При цьому передаточна функція $h_a(t)$ моделі реактора однозначно визначається параметрами і структурою апроксимуючої передаточної функції (1).

Так як показник ступеня n в рівнянні (1) може приймати тільки цілі невід'ємні значення, то при реалізації алгоритму нелінійної оптимізації недоцільним є включення його в множину параметрів, що оптимізуються. Зокрема визначення значення n можливо шляхом повного перебору множини його допустимих значень $n \in \{1, 2, 3, \dots, n_{\max}\}$, де n_{\max} – обмеження порядку аперіодичної ланки, $n_{\max}=8$. Таким чином, для алгоритму нелінійної оптимізації множина параметрів, що оптимізуються зводиться до вигляду: $\mathbf{P} = \{T_1, T_2, \tau\}$. Обмеженням для процесу нелінійної оптимізації є комплекс умов [7, 8] з додатково накладеними вимогами додатності сталих часу T_1, T_2 і невід'ємності запізнення τ : $T_1 > 0$; $T_2 > 0$; $\tau \geq 0$. Первинну гіпотезу $\mathbf{P}^0 = \{T_1^0, T_2^0, \tau^0\}$ пропонується формулювати на основі ідентифікації параметрів передаточної функції вигляду (1) при $n = 1$.

На основі вищенаведеного підходу та експериментальної перехідної характеристики нагріву реактора БПУ (рис. 3) здійснимо ідентифікацію параметрів передаточної функції (1). Експериментальна перехідна характеристика нагріву отримана для реактора об'ємом 14 літрів при потужності газового пальника 17 кВт.

Після проведення ідентифікації згідно з вищенаведеним підходом передаточна функція реактора БПУ має наступний вигляд

$$W_R(p) = \frac{k_R e^{-\tau_R p}}{(T_{R1} p + 1)(T_{R2} p + 1)^2}, \quad (3)$$

де $k_R=0,038$; $T_{R1}=45$ с; $T_{R2}=12,75$ с; $\tau_R = 0$; $n=2$.

Газовий пальник, що нагріває реактор, має передаточну функцію інерційної ланки першого порядку

$$W_{ГП}(p) = \frac{k_{ГП}}{T_{ГП} p + 1}, \quad (4)$$

де $k_{ГП}$ – коефіцієнт підсилення газового пальника, який визначається нижчою питомою теплотою згоряння Q_H^p газу, що використовується в якості палива, $k_{ГП} = 85,6 \cdot 10^6$, так як Q_H^p зрідженого газу дорівнює 85,6 МДж/м³; $T_{ГП}$ – стала часу газового пальника, що визначається швидкістю займання газу, $T_{ГП}=0,01$ с.

Лінійний регулятор витрати газу має наступну передаточну функцію

$$W_{ЛРВ}(p) = \frac{k_{ЛРВ}}{T_{ЛРВ}^2 p^2 + 2\zeta T_{ЛРВ} p + 1}, \quad (5)$$

де $k_{ЛРВ}$, $T_{ЛРВ}$, ζ – коефіцієнт підсилення, стала часу та коефіцієнт демпфування лінійного регулятора витрати, що визначаються параметрами сервопривода та газового вентиля, які входять до складу лінійного регулятора витрати; $k_{ЛРВ} = 3,07 \cdot 10^{-5}$; $T_{ЛРВ} = 1$ с; $\zeta=0,5$.

Задавальний пристрій та датчик температури вважаються безінерційними ланками з відповідними передаточними функціями

$$W_{ЗП}(p) = k_{ЗП}; \quad (6)$$

$$W_{ДТ}(p) = k_{ДТ}; \quad (7)$$

де $k_{ЗП}$ та $k_{ДТ}$ – коефіцієнти підсилення задавально-го пристрою та датчика температури відповідно; $k_{ЗП} = k_{ДТ} = 0,01$.

Структурна схема системи керування наведена на рис.4, де збурювальний вплив $f(t)$ представлений у вигляді ступінчатих сигналів різної ширини та амплітуди.

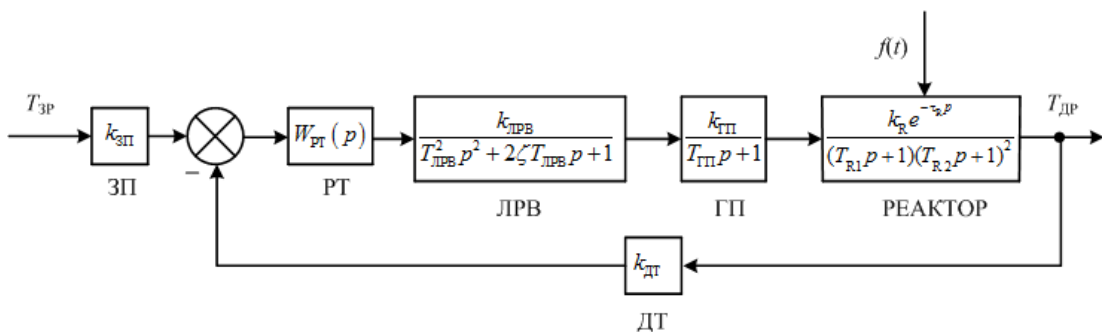


Рисунок 4 – Структура математичної моделі системи керування

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА З НЕЧІТКИМИ ПД-РЕГУЛЯТОРАМИ ТИПУ СУГЕНО ТА МАМДАНІ

На рис. 5 представлена функціональна схема системи керування температурою нагріву реактора БПУ з нечітким ПД-регулятором. На вхід нечіткого регулятора

подається похибка ϵ сигналу керування та похідна від похибки $\frac{d\epsilon}{dt}$, тобто швидкість її зміни.

На виході формується сигнал керування $u_{рт}$, який надходить на вхід виконавчого механізму.



Рисунок 5 – Функціональна схема САК з нечітким ПД-регулятором

РОЗГЛЯНЕМО БІЛЬШ ДЕТАЛЬНО ПРОЦЕДУРУ СИНТЕЗУ НЕЧІТКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА ТИПУ МАМДАНІ

Основними етапами нечіткого логічного висновку Мамдані типу є: фазифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефазифікація [18, 19].

На етапі фазифікації для кожної вхідної змінної визначається відповідне їй лінгвістичне значення та ступінь належності відповідній нечіткій множині [4]. Для першої вхідної змінної ϵ та для другої вхідної змінної $\frac{d\epsilon}{dt}$ обрано по 5 лінгвістичних термів, а для вихідної змінної U – 7 лінгвістичних термів. Параметри лінгвістичних термів представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Терм	Тип функції належності	Діапазон значень
Для вхідної змінної ϵ		
BN – велика від’ємна	Трикутна	[-15 -10 -5]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[-10 -5 0]
Z - нульова	Трикутна	[-5 0 5]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 5 10]
BP – велика додатна	Трикутна	[5 10 15]
Для вхідної змінної $d\epsilon/dt$		
BN – велика від’ємна	Трикутна	[-0,75 -0,5 -0,25]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[-0,5 -0,25 0]

Z - нульова	Трикутна	[-0,25 0 0,25]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 0,25 0,5]
BP – велика додатна	Трикутна	[0,25 0,5 0,75]
Для вихідної змінної U		
VBN – дуже велика від’ємна	Трикутна	[-2 0 2]
BN - велика від’ємна	Трикутна	[0 2 4]
SN – мала від’ємна	Трикутна	[2 4 6]
Z – нульова	Трикутна	[4 6 8]
SP – мала додатна	Трикутна	[6 7,5 9]
BP – велика додатна	Трикутна	[8 9 10]
VBP – дуже велика додатна	Трикутна	[9 10 11]

Для реалізації нечіткого логічного висновку сформуємо базу знань. Правила бази знань за алгоритмом Мамдані являють собою лінгвістичні твердження виду:

$$\text{якщо } \epsilon = x \text{ і } \frac{d\epsilon}{dt} = y \text{ ТОДІ } U = z,$$

де x, y, z – відповідні значення лінгвістичних термів.

Для даного випадку база знань складається з 25 правил, які відповідають всім комбінаціям двох вхідних нечітких змінних. База знань представлена в табл. 2.

Таблиця 2

		Швидкість зміни похибки, $d\varepsilon/dt$				
		BN	SN	Z	SP	BP
Похибка, ε	BN	VBN	VBN	VBN	BN	SN
	SN	VBN	BN	BN	SN	SP
	Z	SN	SN	Z	SP	SP
	SP	SN	SP	BP	BP	VBP
	BP	SP	BP	VBP	VBP	VBP

Характеристична поверхня даного регулятора зображена на рис. 6.

На наступному етапі (агрегація) визначаються ступені істинності для кожного з правил системи нечіткого логічного висновку, а на етапі активізації реалізується процедура знаходження ступенів істинності кожного з підзаключень правил нечітких продукцій.

Подальшим етапом нечіткого логічного висновку є акумуляція, тобто процедура знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних [18]. Метою акумуляції є об'єднання всіх вихідних лінгвістичних термів з відповідними ступенями істинності кожного з правил для отримання функції належності вихідної змінної. Таким чином, на етапі акумуляції формується результуюча функція належності для нечіткого рішення, яке потрібно перетворити в чітке значення вихідного сигналу. Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу u_{PT} являє собою процедуру дефазифікації.

Існує кілька методів дефазифікації: метод центру тяжіння, метод центру площини, метод лівого модального значення, метод правого модального значення та ін. [2, 5]. Для даного випадку обираємо метод центру тяжіння, згідно якого значення вихідного сигналу розраховується за формулою (8)

$$u_{PT} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)}, \quad (8)$$

де n – кількість значень вихідної лінгвістичної змінної; u_i – i -те значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної; $\mu(u_i)$ – значення результуючої функції належності для відповідного значення u_i .

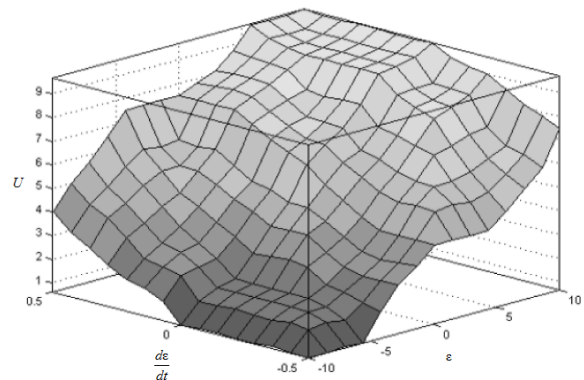


Рисунок 6 – Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора типу Мамдані

РОЗГЛЯНЕМО БІЛЬШ ДЕТАЛЬНО ПРОЦЕДУРУ СИНТЕЗУ НЕЧІТКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА ТИПУ СУГЕНО

Для регулятора Сугено типу на етапі фазифікації для першої вхідної змінної ε та другої вхідної змінної $\frac{d\varepsilon}{dt}$ обрано такі ж самі лінгвістичні терми, як і для регулятора Мамдані (табл. 1).

Для реалізації нечіткого логічного висновку формуємо базу знань. Правила бази знань нечіткого ПД-регулятора за алгоритмом Сугено являють собою лінгвістичні твердження виду:

$$\text{якщо } \varepsilon = x \text{ і } \frac{d\varepsilon}{dt} = y \text{ ТОДІ } u_{PT} = k_{PI}\varepsilon + k_{D}\frac{d\varepsilon}{dt}.$$

Частина правила ТОДІ представляє собою в даному випадку лінійну комбінацію входів. Кожна лінійна комбінація визначається вектором коефіцієнтів $mf_i = [k_{PI}, k_{D}]$, де i – номер правила, що приймає значення від 1 до 25; k_{PI} – коефіцієнт пропорційності; k_{D} – диференційний коефіцієнт. В процесі проектуван-

ня нечіткого ПД-регулятора постає завдання визначення всіх цих коефіцієнтів шляхом навчання Сугено-регулятора.

В табл. 3 зведено значення всіх знайдених в процесі навчання регулятора коефіцієнтів вихідного сигналу.

Таблиця 3

№ правил	Значення коефіцієнтів									
	k_{Π}					k_{Δ}				
1-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-10	0	-1,11	2,4	-3,97	-5,23	0	0	-50	-68	-74,5
11-15	-5,6	-6,29	14	14,5	14,9	-100	-120	250	390	380
16-20	15,2	15,6	16,08	16,76	43,16	368	358	353,5	340,5	320
21-25	17,2	17,54	18,4	19,2	20	312	307,5	300,5	295	280

Характеристична поверхня даного регулятора типу Сугено зображена на рис. 7.

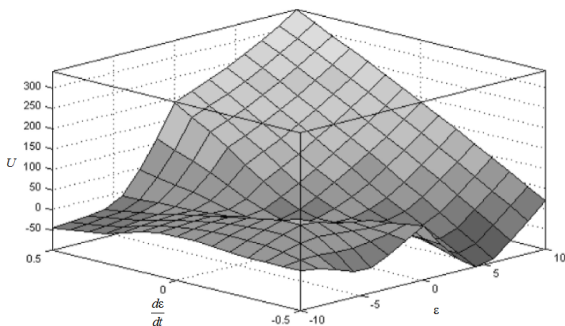


Рисунок 7 – Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора типу Сугено

Для процедури дефазифікації у випадку Сугено-регулятора також обираємо метод центру тяжіння.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ТРАДИЦІЙНИМ ТА НЕЧІТКИМИ ПД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Передаточна функція традиційного ПД-регулятора має вигляд

$$W(p) = k_{\Pi} + k_{\Delta} p, \tag{9}$$

де k_{Π} та k_{Δ} – коефіцієнти, що настроюються;

$p = \frac{d}{dt}$. Для моделювання обираємо значення коефі-

цієнтів, що були знайдені в результаті параметричної оптимізації: $k_{\Pi} = 13,6$; $k_{\Delta} = 400$.

В табл. 4 представлений порівняльний аналіз показників якості систем керування з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами для різних значень вхідних задавальних впливів ($T_{ЗР} = 550, 600, 650^{\circ}\text{C}$), де позначено: σ – перерегулювання, $\sigma = \frac{T_{\text{MAX}} - T_{\text{ДР}}}{T_{\text{ДР}}} \cdot 100\%$; t_p – час регулювання; Δ – статична похибка, $\Delta = \frac{T_{ЗР} - T_{\text{ДР}}}{T_{ЗР}} \cdot 100\%$; μ – коливальність (число переходів через значення $T_{\text{ДР}}$ за час t).

На рис. 8 представлені перехідні процеси систем управління при нульових початкових умовах для $T_{ЗР} = 600^{\circ}\text{C}$ без збурень.

Таблиця 4

Показники якості	Значення показників якості САК								
	ПД-регулятор			Регулятор типу Мамдані			Регулятор типу Сугено		
	Значення вхідного впливу, $T_{ЗР}, ^{\circ}\text{C}$								
	550	600	650	550	600	650	550	600	650
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_p, \text{сек}$	155	160	165	185	188	192	112	115	117
$\Delta, \%$	0,15	0,16	0,165	0,17	0,25	0,3	0	0	0
μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

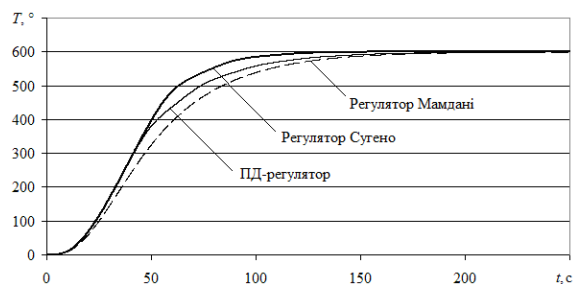


Рисунок 8 – Перехідні процеси при $T_{ЗР} = 600^{\circ}\text{C}$

Найкращі показники якості для даного вхідного впливу має система з нечітким регулятором типу Сугено, а саме: час регулювання t_p складає 115 с, перерегулювання σ дорівнює 0%, коливальність μ та статична похибка Δ дорівнюють 0. Система керування з традиційним ПД-регулятором також має перерегулювання 0%, але час регулювання складає 160 с та статична похибка Δ дорівнює 0,16%. Система керування з регу-

лятором типу Мамдані має гірші показники в порівнянні з попередніми системами, вихідний сигнал даної системи керування має час регулювання 188 с, коливальність та перерегулювання дорівнюють 0, статична похибка 0,25%.

На рис. 9 представлено перехідні процеси систем керування з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами типу Мамдані та Сугено при наявності збурень $f(t)$, що носять ступінчатий характер (рис. 10), при нульових початкових умовах для $T_{зр} = 600^{\circ}\text{C}$.

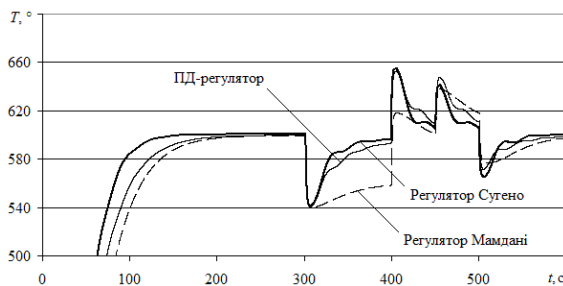


Рис. 9. Перехідні процеси при $T_{зр} = 600^{\circ}\text{C}$ з урахуванням збурень $f(t)$

Відхилення при максимальному збурювальному впливі з амплітудою 60 для систем з традиційним чітким регулятором та з нечітким регулятором Сугено типу становить близько 1,33% та 0,7% від значення вихідного сигналу, тоді як для системи з регулятором типу Мамдані значно більше – 6,7%.

Після проведення моделювання САК в умовах короткочасних ступінчатих збурювальних впливів, можна зробити висновок, що відхилення вихідного сигналу від заданого значення систем керування з чітким регулятором та нечітким регулятором типу Сугено при такому виді збурень незначне і складає лише 0,7 – 1,5% (відповідне значення температури не більше 10°C), що з точки зору регулювання температури не має суттєвого впливу на протікання процесів в реакторі БПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезису //Технічні вісті. – 2011. – Вип. 1 (33), 2 (34). – С.13-16.
2. Hampel R., Wagenknecht M. and Chaker N. (Eds.). Fuzzy Control: Theory and Practice. Physika-Verlag, Heidelberg, New York, 2000.
3. Zadeh L.A. Fuzzy sets //Information and Control. – 1965. – №8. –Р.338-353.
4. Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and Its Applications. – Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publishers, 1992.

Щодо системи керування з нечітким регулятором типу Мамдані, то для неї відхилення вихідного сигналу при короткочасних збурювальних впливах є суттєвим і досягає при максимальному збуренні величиною -60°C майже 7%, а це відповідає зниженню приблизно на 40°C заданої температури нагріву, що впливає на якість піролізного технологічного процесу.

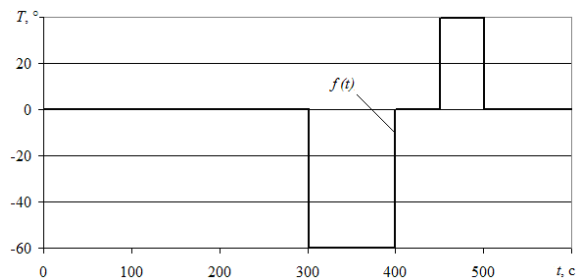


Рисунок 10 – Характер збурювальних впливів $f(t)$, що діють на реактор БПУ

ВИСНОВКИ

В даній статті представлено розробку нечітких ПД-регуляторів типу Мамдані та Сугено для системи керування температурою нагріву реактора БПУ.

В результаті проведених авторами досліджень можна зробити висновок, що для даної системи керування доцільно застосовувати нечіткий регулятор типу Сугено, оскільки система керування з такого виду регулятором має менший час регулювання у порівнянні з системою зі звичайним ПД-регулятором. Застосування нечіткого регулятора типу Мамдані не дало кращих результатів, оскільки параметри даного регулятора не були попередньо оптимізовані так, як параметри традиційного та Сугено типу ПД-регуляторів. Цей факт підтверджує необхідність проведення процедури оптимізації для покращення динамічних властивостей будь-якої системи керування з нечіткими регуляторами.



5. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмшин М.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ Лаборатория Знаний, 2009. – 798 с.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 300 с.
8. Передовые технологии в управлении кондиционерами Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. www.ivic.ua/info/interesting/index.html
9. Вовк О.Л. «Исследование трудноформализуемых алгоритмов нечеткого управления в системах управления объектами», автореферат магистерской выпускной работы. – Донецк, 2002, <http://masters.donntu.edu.ua/2002/fvti/vovk/diss/index.htm>
10. Симанков В.С., Шопин А.В., Буцацкий П.Ю. Методология нечеткого управления автономной фотоветроэнергетической системой //Труды ФОРА. – 1999. – №4.
11. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Системы функции-управления. – К.: Техніка, 1997.
12. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. I. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты //Техническая кибернетика. – 1992. – №5. – С.171-196.
13. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 с.
14. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Аль Зобби И.Я.М. Нечеткие системы управления нестационарными объектами с переменными параметрами //Труды ОНПУ. – 2004. – Вып.2 (22). – С.108-115.
15. Kondratenko Y.P., Sydorenko S., Kravchenko D. Fuzzy Control Systems of Non-Stationary Plants With Variable Parameters //12th Zittau East-West Fuzzy Colloquium, Conference Proceedings, Heft 84/2005, Nr.2090-2131, Wissenschaftliche Berichte, Institut fur Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik, Zittau, Sept. 21-23, 2005, pp.140-152.
16. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Пер. с англ. под. ред. Быховского М.Л. – М.: Мир, 1974. – 534 с.
17. Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Мельник Т.Л. Синтез та аналіз властивостей нечітких регуляторів для стабілізації температури в судових приміщеннях //Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2007. – Вып. 12. – С.50-65.
18. Гостев В., Кражнев В., Скрутов С. Выбор функций принадлежности и настройка нечетких регуляторов систем автоматического управления //Автоматизация производственных процессов. – 2002. – №1 (14). – С.162-167.
19. Jantsen, J. (1998). Design of Fuzzy Controllers. Tech. Report no. 98 E 864, Technical University of Denmark, Dept. of Automation, Lyngby, pp. 1-26.