



УДК 681.516.75

ДВОКАНАЛЬНИЙ НЕЧІТКИЙ КОНТРОЛЕР ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

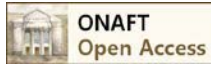
Ковриго Ю.М.¹, Новіков П.В.²

^{1,2} – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"; м. Київ, пр. Перемоги, 37

ORCID: ²<http://orcid.org/0000-0002-2790-5809>E-mail: ¹yukovrygo@gmail.com, ²p.novikov@kpi.ua

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI:

Анотація: Розглянуто схему системи автоматичного керування з двоканальним нечітким контролером при регулюванні технологічних параметрів в умовах нестационарності динамічних характеристик об'єкта керування. Актуальність даного дослідження полягає у використанні більш складних структур керування, коли необхідно добитися малих відхилень показників якості керування за умов зміни параметрів моделі керування. Застосування схем з предикторами і алгоритмами адаптації обмежене на об'єкта теплоенергетики, зокрема прямоточних котлоагрегатах. Як вдосконалення існуючих систем розповсюдженим підходом є реалізація ПІД-алгоритму регулювання за допомогою нечіткого регулятора, а потім за рахунок підбору функцій належності і побудови бази правил відбувається вдосконалення алгоритму регулювання. На відміну від описаної схеми, в основі побудови двоканального нечіткого контролера лежить не ПІД-закон, а знання і досвід оператора при регулюванні технологічного параметра в ручному режимі. Визначені діапазони вхідних і вихідних змінних fuzzy-контролера. На основі експертних знань і аналізу дій оператора укладено базу правил для блоків нечіткої логіки. Виконано математичне моделювання спроектованої системи. Проведено порівняння одноконтурної системи при незмінних налаштуваннях регулятора і двоканального нечіткого контролера для різних режимів роботи об'єкта, що визначаються змінним навантаженням енергоблоку ТЕС. Розраховано показники якості функціонування обох систем. Застосування двоканального нечіткого контролера забезпечує сталість показників якості функціонування системи автоматичного регулювання. При цьому забезпечується робастність системи автоматичного регулювання за стійкістю в умовах параметричної нестационарності досліджуваного об'єкта.

Abstract: We studied an automatic control system with two-channel fuzzy controller under conditions of non-stationarity of parameters of the control object's model. The relevance of present research is in the application of more complex control structures to achieve small deviations in quality control parameters under conditions of change in the parameters of control model. The application of circuits with predictors and adaptation algorithms is limited to the object of thermal power engineering. A common approach is implementing the PID control algorithm using a fuzzy controller. Then by selecting the membership functions and building the rule base the control algorithm is improved. In contrast to the described scheme the basis of building a two-channel fuzzy controller is not the PID law but the knowledge and experience of the operator in control the technological parameter in manual mode. The ranges of input and output variables of the fuzzy controller are defined. Based on expert knowledge and analysis of the actions of the operator a rule base for both blocks of fuzzy logic is formed. Mathematical modeling of the designed system was performed. We compared a single-circuit system at constant settings of the controller and the system with two-channel fuzzy controller for different states of an object that are determined by variable parameters of its model. Parameters of operation quality of both systems were calculated. Application of two-channel fuzzy controller warrants the constancy of the automation control system operation quality. Also in this case ensures the robustness of the automatic control system for stability in terms of parametric nonstationarity of the plant.

Ключові слова: нечітка логіка, нестационарність, запас стійкості, система керування, робастність.



Keywords: fuzzy logic, nonstationarity, stability margin, control system, robustness.

Вступ

На сучасному етапі розвитку енергетики України є актуальним модернізація енергоблоків діючих ТЕС, що працюють в маневрових режимах, з метою підвищення їх ефективності та надійності функціонування, введення більш точного регулювання навантаження енергоблоків для покращення якості електроенергії та стійкості загальної енергосистеми.

Об'єкти регулювання ТЕС у більшості випадків змінюють свої параметри як у межах доби (при зміні навантаження енергоблоку), так і під час тривалої експлуатації (фізичний знос, технічна модернізація тощо). Нестационарність динамічних характеристик досить часто зустрічається в об'єктах теплоенергетики, що використовують спалення органічного палива. Особливо це відчутно при зміні виду палива. Визначення меж такої нестационарності для працюючого обладнання, в багатьох випадках, стає майже нездійсненним. Це зумовлено, по-перше, обмеженістю проведення на такому обладнанні експериментальних досліджень. По-друге, має місце неповнота математичного опису, що зумовлена лінеаризацією та апроксимацією характеристик його елементів. Всі ці чинники спричиняють суттєві розбіжності між результатами моделювання поведінки синтезованих автоматичних систем регулювання (АСР) та реальними експериментальними даними, отриманими під час пуско-наладки. Результатом незадовільної якості функціонування стандартних регуляторів є практика, коли оператори ТЕС вимушені переходити на ручний режим керування, щоб уникнути великих динамічних викидів і тривалих низькочастотних коливань технологічних параметрів котлоагрегатів.

Описаний вплив чинників, які спричиняють параметричну нестационарність, робить актуальним використання більш сучасних і складних алгоритмів керування. Вони повинні забезпечувати малі відхилення показників якості керування за умов зміни динамічних характеристик об'єкту навіть в достатньо великих межах. Як рішення даної задачі розглядається регулятор, побудований на основі нечіткої логіки. База правил нечіткого контролера укладається, виходячи із попереднього досвіду керування оператором цільовим об'єктом. Це дозволяє врахувати всі особливості об'єкта керування (враховуючи параметричну нестационарність) при виробленні керуючого впливу.

Існуючі методи керування складними інерційними об'єктами з транспортним запізненням

ПІД-регулятор відноситься до найбільш поширеного типу регуляторів. Приблизно 90-95% регуляторів [1], що знаходяться в даний час в експлуатації, використовують ПІД-алгоритм. Причинами такої високої популярності є простота побудови і промислового використання, ясність функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань. Серед ПІД-регуляторів 64% припадає на одноконтурні регулятори і 36% – на багатоконтурні системи [2].

Для простих випадків, коли вимоги до якості функціонування невисокі, модель адекватна, ситуація зі збуреннями ясна – проблем з налаштуванням систем не виникає. Такі умови роботи складають 20-25% для систем регулювання в промисловості. Відповідно близько 70% АСР або працюють не ефективно, або ж взагалі не задовольняють поставленим вимогам [3]. Насправді проблема має комплексний характер і у неї немає простого рішення.

Для керування інерційними об'єктами з великим транспортним запізненням використовують спеціальні структури ПІД-регуляторів, що мають в своєму складі блоки для передбачення поведінки об'єкта через час запізнення – предиктори (від англ. *prediction* – прогнозування). Найбільш відома схема такого типу – предиктор Сміта. Його рекомендують застосовувати при співвідношенні величини запізнення до постійної часу об'єкту $0,2 \dots 0,5$ [2]. Проте регулятор, базований на формі предиктора Сміта дуже чутливий до варіацій значення запізнення. Крім того, він гарно виконує стеження за уставкою, але погано відпрацьовує по каналу зовнішнього збурення.

Інша модифікація схеми з використанням моделі об'єкта – регулятор з внутрішньою моделлю об'єкта або *ІМС* (від англ. *Internal Model Control*). Важливою особливістю регулятора з внутрішньою моделлю є можливість налаштування робастності незалежно від вибору інших параметрів регулятора. Для цього вибирають відповідний фільтр F або сталу фільтра λ . Регулятор з внутрішньою моделлю може дати дуже хорошу реакцію на зміну уставки, проте реакція на зовнішні збурення може бути занадто сповільненою [2].

Перевагою вище згаданих схем є краще відпрацювання перехідного процесу за каналом завдання-вихід. Тим не менш, застосування математичної моделі об'єкту має і свої слабкі місця. По-перше, ідеальна робота системи буде в тому випадку, якщо модель повністю співпадає з реальним об'єктом. На практиці процедура точної ідентифікації стикається із значною складністю аналітичного виводу моделі за допомогою диференціальних рівнянь з одного боку, і з неточністю апроксимації при здійсненні активного експерименту – з іншого.

Крім того, через наявність нестационарності і нелінійності динамічних характеристик теплоенергетичних об'єктів використання схем з внутрішньою моделлю вимагає застосування алгоритмів адаптації, що значно ускладнює систему керування в цілому.

Останнім часом з'явилися цікаві рішення з проектування робастних систем на основі звичних і наочних частотних характеристик, а також на основі регулятора із внутрішньою моделлю.



Метод динамічної корекції [3, 5] полягає в зсуві амплітудно-фазової характеристики системи в найбільш важливому діапазоні частот. Збільшення запасу стійкості і формування потрібного керуючого впливу досягається використанням 2-х каналної структури. При цьому, основний канал відповідає за швидкодію і базується на ПІ-законі, а канал корекції, що діє з певною затримкою, компенсує надлишковий сигнал керуючого впливу на кінцевій ділянці перехідного процесу, забезпечуючи стійкість АСР. Такий клас регуляторів можна віднести до еквівалентно-адаптивних регуляторів змінної структури.

Інша методика базується на використанні регулятора з внутрішньою моделлю. Головна перевага полягає у тому, що стійкість замкнутої системи досягається за рахунок вибору стійкого ІМС регулятора. Задача синтезу зводиться до розрахунку одного параметра, який називається мірою якості і по суті є параметром фільтру високих частот. За допомогою чисельного моделювання можна отримати однозначні залежності між мірою якості і основними показниками якості функціонування системи [5].

Вже три десятиліття активно проводяться дослідження щодо застосування нечіткої логіки в задачах керування технологічними процесами. Нечітке керування використовується при недостатніх знаннях про об'єкт керування (ОК), але при наявності досвіду керування ним. Таке керування доцільне в нелінійних або складних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка [6]. Для застосування новітніх складних методів керування зазвичай не вистачає інформації про технологічний процес і надійних математичних моделей, що його описують [7]. Цим і пояснюється той факт, що деякі складні процеси успішно управляються вручну досвідченими операторами [8].

Нечітка логіка в ПІД-регуляторах використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора і для організації підстроювання коефіцієнтів ПІД-регулятора.

Одна із найбільш розповсюджених структур нечіткого ПІД-регулятора показана на рис. 1. На вхід регулятора поступає сигнал неузгодженості e і похідна сигналу неузгодженості de/dt . Обидві величини спочатку піддаються операції фазифікації, потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого виводу для отримання вихідного сигналу, який після виконання операції дефазифікації подається на вихід регулятора як сигнал керування u .

В умовах параметричної нестационарності ОК особливо цікавий другий варіант (рис. 2), в якому нечіткий регулятор по суті виступає як блок адаптації коефіцієнтів основного ПІД-регулятора.

Відсутність блоку нечіткої логіки в основному каналі регулювання дозволяє в кожний окремо взятий момент часу розглядати систему керування як лінійну, а відтак, застосовувати добре відомі методи аналізу і синтезу лінійних систем, наприклад частотні характеристики [9]. Тем не менш, реалізація блоку адаптації для ПІД-регулятора викликає проблеми, оскільки він повинен мати три блоки нечіткої логіки у відповідності з трьома параметрами ПІД-регулятора, крім того дана структура не вирішує проблему безударного переходу між налаштуваннями регулятора, що можна спостерігати в роботі [8].

Постановка задачі

Метою дослідження є отримання алгоритму роботи системи автоматизації, що нечутливий до невизначеності параметрів об'єкту, враховує наявність запізнення у часі по каналах керування і збурення та гарантує при цьому задану якість регулювання у перехідних режимах роботи.

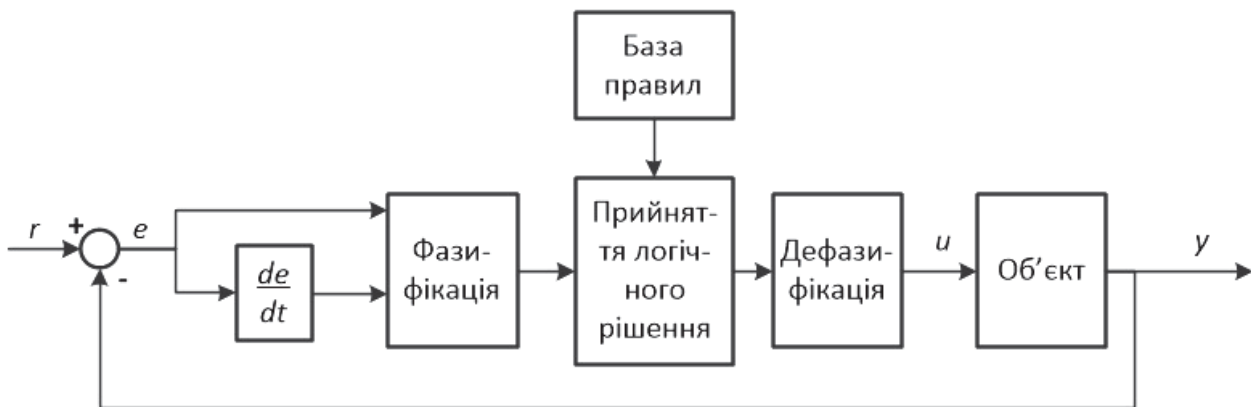


Рис. 1 – Структура нечіткого контролера

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити діапазони вхідних і вихідних лінгвістичних змінних нечіткого контролера в умовах параметричної нестационарності ОК;
- на основі експертних знань про динаміку ОК розробити базу правил нечіткого контролера;
- провести порівняльний аналіз роботи системи з ПІД-регулятором і системи з нечітким контролером, визначити показники якості систем керування.

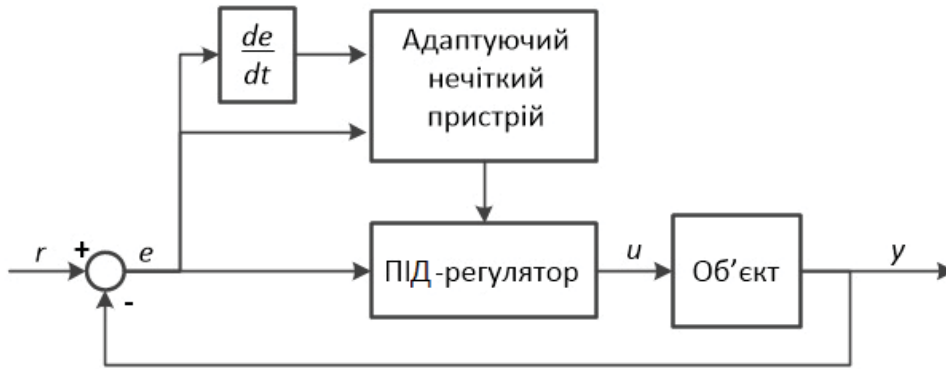


Рис. 2 – PID-регулятор з адаптуєчим fuzzy-пристроєм

Синтез двоканального нечіткого контролера

Схема керування з двоканальним fuzzy-контролером зображена на рис. 3. В даній схемі як вхідні змінні двоканального fuzzy-контролера розглядаються сигнал неузгодженості e і похідна сигналу неузгодженості за часом de/dt . Відповідно для кожного з блоків нечіткої логіки необхідно визначити діапазон змін вхідних змінних і розбити кожен з діапазонів на лінгвістичні терми.

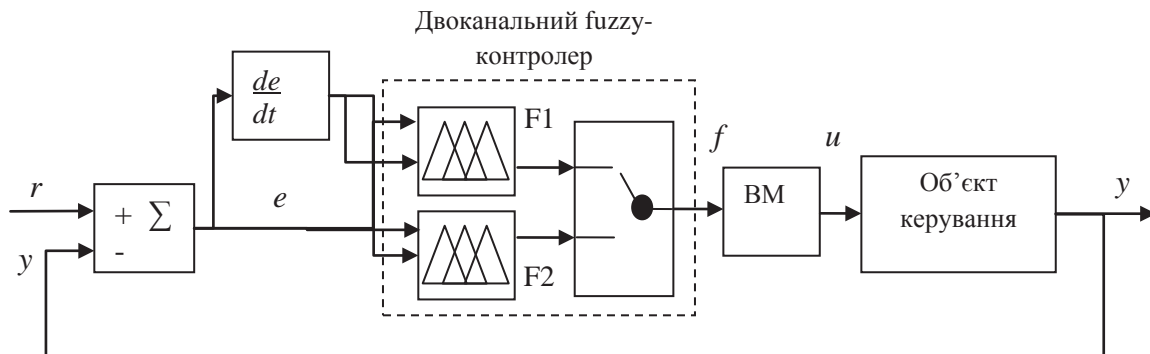


Рис. 3 – Схема керування з двоканальним контролером

r – завдання (уставка), y – вихідна величина, u – сигнал керування, f – послідовність імпульсів керування, e – сигнал неузгодженості, de/dt – похідна сигналу неузгодженості за часом, ВМ – виконавчий механізм

Розглянемо блок формування імпульсів F1. Він має два вхідних параметра і один вихідний.

Для вхідного параметру e заданий діапазон від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такі межі зумовлені вимогами до точності підтримання температури перегрітої пари [10].

Для вхідного параметру de/dt заданий діапазон від $-0,15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ до $+0,15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$. Межі швидкості зміни сигналу помилки визначаються динамічними властивостями об'єкту керування та величиною збурень. Даний діапазон отриманий на основі моделі, розробленої в роботі [4] при зміні положення органу керування на 10%.

Вихідним параметром блоку F1 є тривалість імпульсів. Діапазон зміни цього параметру задається на основі експертних знань і досвіду експлуатації конкретного об'єкта керування. Наприклад, якщо максимальна тривалість імпульсу з досвіду експлуатації при ручному режимі керування не перевищує 2 секунд, то діапазон зміни вихідного параметра можна визначити від -2 c до 2 c . Від'ємні значення вихідного параметра свідчать про те, що імпульси керування повинні бути від'ємної полярності, щоб виконавчий механізм рухався в протилежному напрямку.

Для вхідного параметру e визначено сім лінгвістичних термів з наступними діапазонами: негативна велика (HNE), негативна середня (MNE), негативна мала (LNE), нульова (ZE), додатна мала (LPE), додатна середня (MPE), додатна велика (HPE).

У відповідності до визначеного діапазону $[-10^{\circ}\text{C}; +10^{\circ}\text{C}]$ ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 4 а.

Аналогічним чином визначено п'ять лінгвістичних термів для вхідного параметру de/dt : негативна велика (HNDE), негативна середня (MNDE), нульова (ZDE), додатна середня (MPDE), негативна велика (HPDE).

У відповідності до визначеного діапазону $[-0,15^{\circ}\text{C}/\text{c}; 0,15^{\circ}\text{C}/\text{c}]$ ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 4 б.

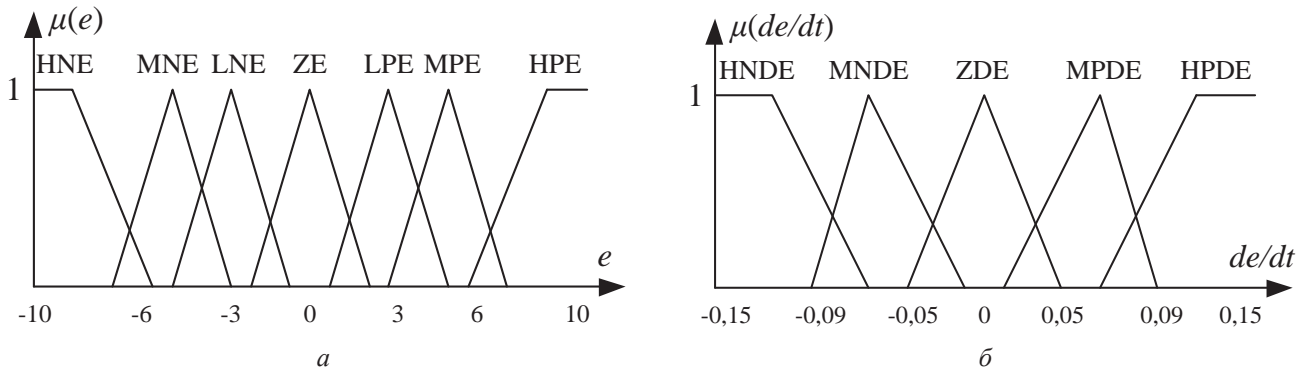


Рис. 4 – Функції належності вхідних сигналів: *a* – сигналу помилки e , *б* – швидкості зміни сигналу e

Блок F1 є блоком формування імпульсів, тому вихідним параметром є тривалість імпульсу, що вимірюється в секундах.

Вихідний сигнал блоку F1 позначається як f_1 . Для вихідного параметра f_1 визначено п'ять лінгвістичних термів з наступними діапазонами: середньої тривалості на закриття (MNI), малої тривалості на закриття (LNI), зона нечутливості (ZI), малої тривалості на відкриття (LPI), середньої тривалості на відкриття (MPI).

У відповідності до визначеного діапазону [-2 с; +2 с] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 5.

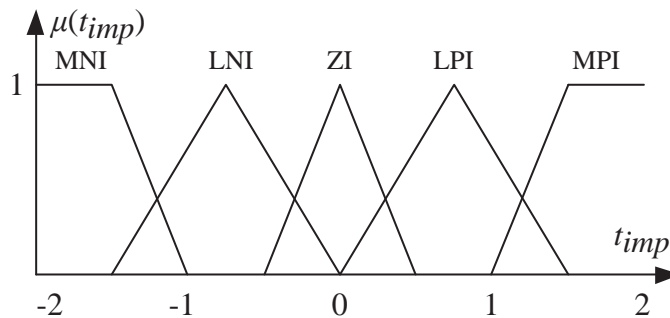


Рис. 5 – Функції належності вихідного сигналу блоку F1

На основі лінгвістичних термів всіх параметрів і їх функцій належності складено базу правил блоку нечіткої логіки. База правил для блоку F1 подана нижче у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – База правил блоку нечіткої логіки F1

e	HNE	MNE	LNE	ZE	LPE	MP	HPE
de/dt							
HNDE	MNI	MNI	MNI	ZI	ZI	LNI	ZI
MNDE	MNI	MNI	LNI	ZI	ZI	ZI	ZI
ZDE	LNI	LNI	ZI	ZI	ZI	LPI	LPI
MPDE	ZI	ZI	ZI	ZI	LPI	MPI	MPI
HPDE	ZI	LPI	ZI	ZI	MPI	MPI	MPI

Блок формування пауз F2 має ідентичні вхідні сигнали, що і блок формування імпульсів F1 – сигнал помилки e і похідну від сигналу помилки de/dt . Діапазони сигналів теж ідентичні – від -10 °C до +10 °C для e і від -0,15 °C/c до +0,15 °C/c для de/dt . Відповідно, лінгвістичні терми сигналів e і de/dt є ідентичними, що і для блоку F1.

Вихідним параметром блоку F2 є тривалість пауз. Вихідний сигнал блоку F2 позначається як f_2 . Для вихідного параметра f_2 визначено п'ять лінгвістичних термів з наступними діапазонами: дуже мала пауза (VLP), мала пауза (LP), середня пауза (MP), велика пауза (HP), дуже велика пауза (VHP).

У відповідності до визначеного діапазону [15 с; 30 с] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 6.

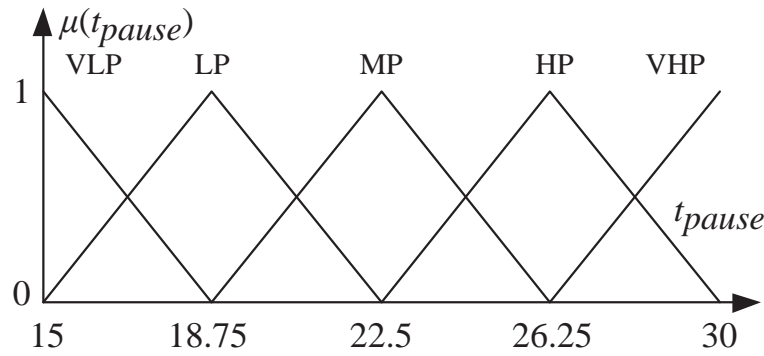


Рис. 6 – Функції належності вихідного сигналу блоку F2

База правил для блоку F2 подана нижче у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – База правил блоку нечіткої логіки F2

e	HNE	MNE	LNE	ZE	LPE	MP	HPE
de/dt							
HNDE	VLP	VLP	LP	VHP	VHP	VHP	HP
MNDE	LP	MP	MP	VHP	VHP	VHP	HP
ZDE	MP	HP	VHP	VHP	VHP	HP	MP
MPDE	HP	VHP	VHP	VHP	MP	MP	LP
HPDE	HP	VHP	VHP	VHP	LP	VLP	VLP

Моделювання системи з двоканальним нечітким контролером

Для побудови нечіткого адаптуючого пристрою використовувався пакет «Fuzzy logic toolbox» MATLAB. Базовим алгоритмом нечіткої логіки використовувався алгоритм «mamdani».

Модель замкненої системи керування із двоканальним нечітким контролером у середовищі Simulink представлена на рис. 7.

Як об'єкт керування розглянуто систему регулювання температури пари за верхньою радіаційною частиною (ВРЧ) прямооточного котлоагрегату ТПП-210А. Функція передачі цього контуру описується аперіодичною ланкою 2-го порядку з запізненням [4]:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-\tau p} \quad (1)$$

Динамічні характеристики об'єкта керування залежно від навантаження енергоблоку наведені в таблиці 3 [4].

Таблиця 3 – Динамічні характеристики об'єкта керування

Навантаження енергоблоку, МВт	k	T_1	T_2	τ
225	3.1	90	45	25
275	1.9	84	42	20
300	1.6	80	40	17

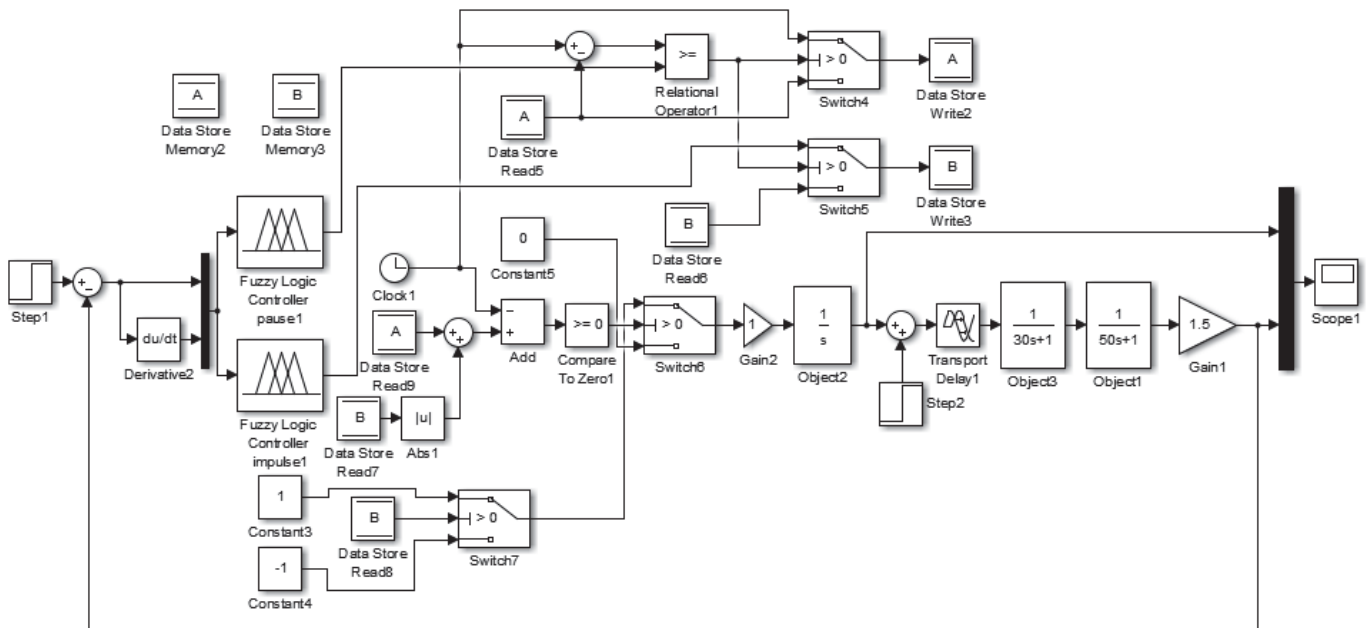


Рис. 7 – Модель замкненої системи керування з двоканальним нечітким контролером

Враховуючи специфіку ОК (прямоточний котел), основним каналом керування, який розглядається в даній роботі, прийнято канал «збурення-вихід». Це пов'язано з тим, що під час експлуатаційного циклу канал «завдання-вихід», як правило задіяний лише при виведенні ОК на заданий режим роботи. Весь інший час відбувається робота по каналу «збурення-вихід».

Схема з двоканальним нечітким контролером порівнювалася з класичним ПІД-регулятором паралельної структури. Параметри налаштування наступні: $k_D=0.4$, $T_i=40$, $T_d=20$.

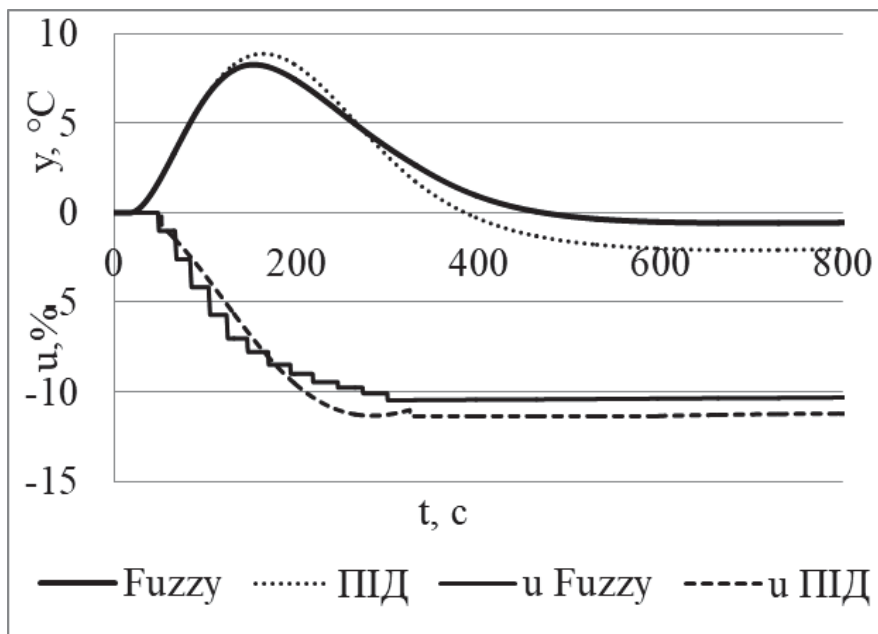


Рис. 8 – Перехідні процеси при 100% навантаженні

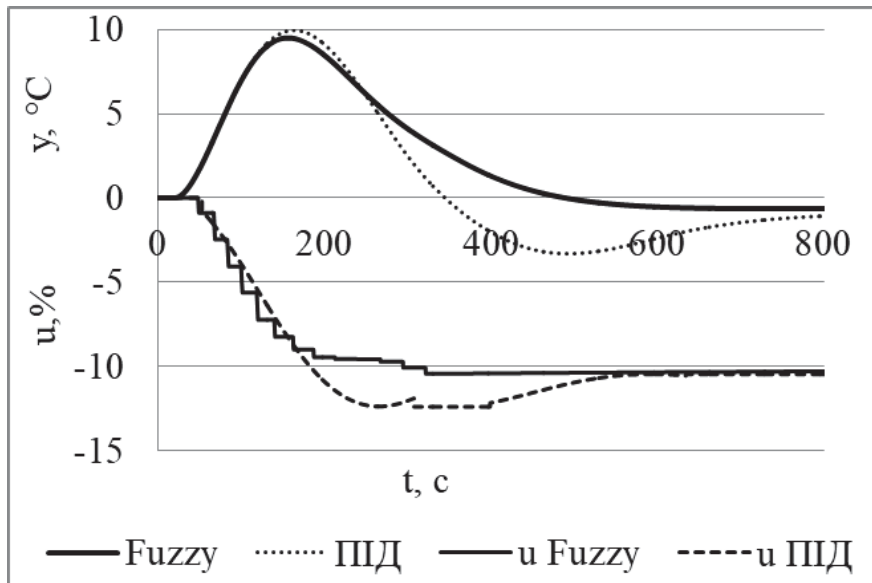


Рис. 9 – Перехідні процеси при 90% навантаженні

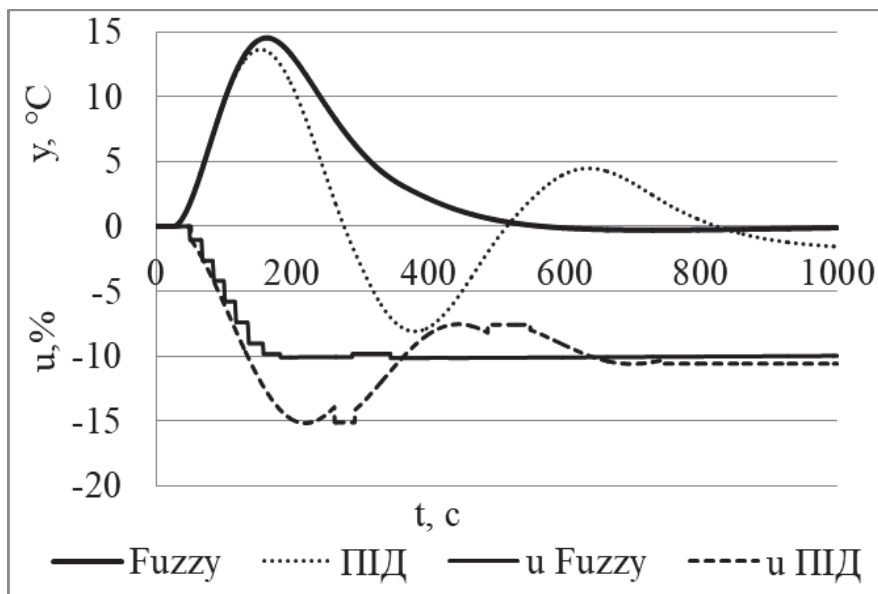


Рис. 10 – Перехідні процеси при 70% навантаженні

Таблиця 4 – Показники якості роботи систем для різних навантажень енергоблоку

Показники якості	70% навантаження		90% навантаження		100% навантаження	
	ПІД	Fuzzy	ПІД	Fuzzy	ПІД	Fuzzy
Максимальний динамічний закид, $^\circ\text{C}$	8,86	8,25	9,95	9,5	13,63	14,53
Ступінь затухання	1	1	1	1	0,67	1
Час регулювання, с	400	450	700	480	980	520
Перерегулювання, %	0	0	35	0	55	0



Аналіз здійснювався шляхом порівняння перехідних характеристик у цільових системах керування в умовах параметричної нестационарності. Параметрична нестационарність моделювалася зміною динамічних характеристик об'єкта керування відповідно до навантаження енергоблоку.

При 100% навантаженні об'єкту керування системи керування з ПІД-регулятором і двоканальним нечітким контролером за каналом «збурення-вихід» дають приблизно однакову якість функціонування.

При збільшенні динаміки об'єкту керування (збільшенні коефіцієнта передачі k та збільшенні сталих часу T і транспортного запізнення τ) стабільність перебігу процесу в класичній системі погіршується. Час регулювання збільшується на 75%, з'являється перерегулювання 35%. База правил двоканального нечіткого контролера спроектована таким чином, що на початковій стадії перехідного процесу відбувається "форсований" керуючий вплив, а на завершальній стадії перехідного процесу зміни виконавчого механізму практично зводяться до нуля. Це призводить до зменшення коливальних характеристик. Порівняно з ПІД-регулятором, час регулювання збільшився не суттєво – приблизно на 6%.

Критичний стан об'єкта керування досягається при додатковому збільшенні часу чистого транспортного запізнення і збільшенні коефіцієнту підсилення. В цьому випадку перехідний процес в класичній одноконтурній системі керування з ПІД-регулятором має малий ступінь затухання – 0,67. Регулятор з двоканальним нечітким контролером справляється з даним погіршенням, перехідні процеси зберігають аперіодичний характер (ступінь затухання становить 1). Час регулювання збільшився порівняно із номінальним режимом на 15,5%, в той час як в системі з ПІД-регулятором – на 145%.

Висновки

1. Запропоновано схему з двоканальним нечіткими контролером для формування імпульсного керування об'єктом в умовах нестационарності його динамічних характеристик.

2. Грунтуючись на знаннях при динаміку об'єкту керування і можливі зміни параметрів його моделі, розроблена база правил для блоків логічного виводу двоканального нечіткого контролера. Для формування тривалості імпульсів керування і пауз між імпульсами використовувалися два окремі fuzzy-блоки.

3. Порівняльний аналіз показав, що одноконтурна АСР із двоканальним нечітким контролером краще пристосована до роботи з об'єктом керування, якому властива параметрична нестационарність. При збільшеній динаміці об'єкта керування двоканальний нечіткий контролер швидше долає збурення в системі керування, прямі показники якості істотно кращі, ніж у системі з класичним ПІД-регулятором.

4. Запропонований спосіб керування за допомогою двоканального нечіткого контролера передбачає нелінійну зміну амплітуди керуючих впливів залежно від величини неузгодженості і характеру її зміни. Це зменшує коливальну здатність системи та дозволяє утримувати її стійкою при набагато більш критичних станах об'єкта, ніж в системах з ПІД-регулятором.

Список використаних джерел

- [1] O'Dwyer A. Handbook of PI and PID controller tuning rules. 3rd ed. / A. O'Dwyer // Dublin Institute of Technology. - 2009. - P. 624.
- [2] Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. - 2007. - №1. - С.66–88.
- [3] Ковриго Ю.М. Применение метода динамической коррекции в системах регулирования инерционными технологическими объектами / Ю.М. Ковриго, А.С.Бунке, П.В. Новіков // Scientific Science Rise. - 2016. - №1/2(18) - с. 21-27.
- [4] Kovrigo, Yu.M. Modernizing the heat load control system of a oncthrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector / Yu. M. Kovrigo, M. A. Konovalov, A. S. Bunke // Thermal Engineering. - 2012. - 59(10). - P.772-778.
- [5] Kovrigo, Yu. M. Securing Robust Control in Systems for Closed Loop Control of Inertial Thermal Power Facilities / Yu. M. Kovrigo, T. G. Bagan, A. S. Bunke // Thermal Engineering. - 2014. - 61(3). - P.183-188.
- [6] Штіфзон О.Й. Розробка адаптуючого fuzzy-logic пристрою для керування в умовах параметричної нестационарності / О.Й. Штіфзон, П.В. Новіков, Т.Г. Баган // Східно-європейський журнал передових технологій - Харків, 2018. - Том 1№ 2.
- [7] Kobersi, I.S. Control of the Heating System with Fuzzy Logic / I.S. Kobersi, V. Finaev, S. A. Almasani, K. Wadii, A. Abdo // World Applied Sciences Journal. - 2013. - 23 (11). - P.1441-1447.
- [8] Ковриго Ю.М. Fuzzy-регулятор для керування інерційними технологічними параметрами котлоагрегату ТЕС / Ю.М. Ковриго, О.С.Бунке, П.В. Новіков // Nauka i Studia NR 8 (169) 2017 - с. 76-84.
- [9] Штіфзон О.Й. Использование алгоритмов нечеткой логики для управления объектом с параметрической непостоянностью / О.Й. Штіфзон, А.С. Бабич // Материали за 10-а международна научна практична конференция, «Найновитне научни постижения». - 2014. - Том 34. Технологии. София. - С. 46-52.



- [10] ГОСТ 28269-89 Котлы паровые стационарные большой мощности. Общие технические требования. [Действующий с 1991-01-01]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2006. 21 с.

References

- [1] O'Dwyer, A. *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. 3rd ed. Dublin Institute of Technology, p. 624, 2009.
- [2] Denisenko, V.V. *PID-regulators: principles of construction and modification*. Modern automation technologies, №1, 68-88, 2007.
- [3] Kovrigo, Y.M., Bunke, A.S., Novikov, P.V. *Application of the method of dynamic correction in control systems of inertial technological objects*. Scientific Science Rise, №1/2(18), 21-27, 2006.
- [4] Kovrigo, Yu.M., Konovalov, M.A., Bunke, A.S. *Modernizing the heat load control system of a oncethrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector*. Thermal Engineering, 59(10), p.772-778, 2012.
- [5] Kovrigo, Yu. M., Bagan, T.G., Bunke, A.S. *Securing Robust Control in Systems for Closed Loop Control of Inertial Thermal Power Facilities*. Thermal Engineering, 61(3), p.183-188, 2014.
- [6] Shtifzon, O., Novikov, P., Bahan T. *Development of the adaptive fuzzy-logic device for control system in conditions of parametric non-stationary plant*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies - 1/2 (91), p. 30-37, 2018.
- [7] Kobersi, I.S., Finaev, V., Almasani, S.A., Wadii, K., Abdo A. *Control of the Heating System with Fuzzy Logic*. World Applied Sciences Journal, 23 (11), p.1441-1447, 2013.
- [8] Kovrigo, Yu.M., Bunke, A.S., Novikov, P.V. *Fuzzy-controller for control inertical technological parameters of TPP*. Nauka i Studia NR 8 (169), p. 76-84, 2017.
- [9] Shtifzon, O.I., Babych, A.S. *Using fuzzy logic algorithms to control an object with parametric variability*. Material for the 10-th international scientific practical conference, "Nainovitne nauchni comprehension", P. 34. Technologue, Sophie, 46-52, 2014.
- [10] GOST 28269-89 Stationary steam boilers of great capacity. General technical requirements. [Operating since 1991-01-01]. Moskov : Standartinform, 21 p., 2006.

УДК 681.5.015

ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОГНОЗУВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Жученко О.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.

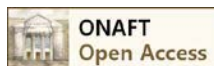
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5611-6529>

E-mail: azhuch@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

Анотація: Використання сучасних технічних засобів не вирішують проблему складності розв'язання систем нелінійних, а іноді і нестационарних диференціальних рівнянь у частинних похідних, які описують технологічні об'єкти з розподіленими параметрами. Один з варіантів вирішення цієї проблеми є побудова на основі початкових