

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЄВСІНА Наталя Олександрівна

УДК 621. 3. 078.3

**СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ
КАПЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Рогачов Олександр Іванович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
професор кафедри автоматики та управління в
технічних системах

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Тимчук Сергій Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Суздаль Віктор Семенович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
м. Харків, провідний науковий співробітник відділу
технології вирощування монокристалів

Захист відбудеться “25” лютого 2016 р. о 16.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “___” січня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток і впровадження автоматизованих систем управління є необхідною умовою науково-технічного прогресу суспільства. Останнім часом велика увага приділяється дослідженням слабо формалізованих складних систем та розробці принципів та алгоритмів управління цими системами. Системи керування процесом сушіння в більшості виробничих установок спираються на наближені емпіричні графіки сушильного процесу, що враховують лише параметри сушильного агенту без урахування інформації про температуру і вологість деревини протягом всього процесу управління, і не дозволяють вирішити задачу оптимізації енергетичних витрат. Нормативні та довідкові документи регламентують застосування східчастих режимів сушіння деревини, що дозволяє лише побічно врахувати стан вологості матеріалу і зміну його теплофізичних властивостей.

Одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності процесів є розробка нечітких систем управління процесами сушіння деревини. Реалізація таких систем не вимагає достовірного математичного опису об'єкта регулювання, а саме процесів тепло- і вологоперенесення у деревині в процесі сушіння.

Основні результати в області нечіткого моделювання та управління були отримані в роботах Л. Заде, Е. Мамдані, М. Сугено, Т. Тера, А. Кофмана, Р. Ягера та ін. Проблема розробки методології нечіткого моделювання і технології вирішення практичних завдань присвячені роботи А.Н. Аверкіна, І.З. Батиршіна, Р.А. Алієва, А.Н. Борисова, Д.А. Поспелова, А.В. Леоненкова, В.В. Круглова. В умовах невизначеності інформації, щодо динамічної поведінки сушильних камер, доцільність використання нечіткого підходу для побудови робастних регуляторів впливає з можливості формування необхідного числа правил управління залежно від поєднання значень вхідних змінних регулятора і, отже, від зміни режиму роботи та рівня збурень.

Таким чином, науково – практична задача розробки та узагальнення методів синтезу нечітких регуляторів для процесів сушіння, що забезпечують задану якість управління і стійкість до зміни динамічних характеристик, є актуальною та визначила напрямок дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами. Розробка основних положень роботи здійснювалася на кафедрі автоматики та управління в технічних системах НТУ «ХП» відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України «Розробка програмних та апаратних засобів моделювання та відображення динамічних об'єктів» (Д.Р. № 0113U000436), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка та вдосконалення методів синтезу нечітких регуляторів в системах

управління сушінням капілярно-пористих матеріалів (КПМ) в умовах наявності нестационарності і невизначеності об'єкту управління.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів і систем управління сушки КПМ та обґрунтувати доцільність розробки узагальненого підходу до оптимізації процесу сушінням в промислових умовах;
- розробити метод оцінки чутливості управління, траєкторії руху та функціоналу якості до змін параметрів системи ;
- провести аналіз щодо використання теорії нечітких множин для оцінки чутливості при варіації параметрів;
- удосконалити метод синтезу нечіткого регулятора, що забезпечує задану якість управління сушінням КПМ та визначити оптимальні параметри та структуру нечіткого регулятора;
- провести імітаційне моделювання процесу сушіння КПМ, що описує регулювання температури і вологості при природній та комбінованій циркуляції сушильного агенту;
- синтезувати адаптивний нечіткий регулятор стабілізації температури сушильного агенту, що дозволить в широкому діапазоні факторів, що збурюють, отримати мінімальний покращений критерій якості системи управління сушінням та запропонувати практичну реалізацію нечіткого регулятора для системи управління камерної сушки.

Предмет дослідження: моделі та методи нечіткого управління конвекційного камерного сушіння.

Методи досліджень. Фундаментальні положення теорії автоматичного управління, теорії операційного числення використовувалися для розробки і дослідження показників якості системи автоматичного управління сушінням капілярно – пористих матеріалів. Використовувалася теорія чутливості для аналізу варіації матриці стану системи і матриці керуючих впливів, а також при визначенні чутливості траєкторії руху оптимальної системи при релейному законі управління до змін параметрів. Методи теорії нечіткого управління застосовані для побудови адаптивного нечіткого регулятора. Оцінка ефективності системи управління, що запропонована, здійснена на основі експериментальних даних, отриманих в лабораторних і промислових умовах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- отримав подальший розвиток метод аналізу чутливості оптимального управління в камерній сушарці в період первинного прогріву матеріалу при квадратичному критерії якості, який дозволив отримати умови нечутливості цього управління в замкнутій системі до малих змін параметрів. Запропонований метод можна використовувати для оцінки чутливості управління в більш складних випадках, коли змінні параметри входять як в матрицю об'єкта управління, так і в матрицю керуючого пристрою;
- отримав подальший розвиток метод оцінки чутливості при використанні теорії нечітких множин, що дає можливість визначити

величину відхилення від бажаного значення при моделюванні розкиду параметрів системи управління сушаркою;

- отримав подальший розвиток метод синтезу нечітких регуляторів з оптимізацією їх параметрів і структури, що дозволяє з мінімальною кількістю управляючих правил вирішувати задачу оптимізації, а саме завдання вибору значень коефіцієнтів регулятора, що мінімізують критерій якості перехідного процесу при виконанні обмежень;

- вперше розроблені імітаційні моделі процесу сушіння капілярно-пористих матеріалів, що описують регулювання температури і вологості при природній та комбінованій циркуляції сушильного агента, що дозволяє налаштовувати адаптивні нечіткі регулятори;

- вперше синтезований адаптивний нечіткий регулятор стабілізації температури сушильного агента, який дозволив в широкому діапазоні факторів, що збурюють, отримати мінімальний покращений критерій якості системи управління в порівнянні з класичним регулятором.

Практичне значення отриманих результатів для процесів виробництва капілярно – пористих матеріалів полягає у підвищенні ефективності процесу сушіння завдяки реалізації управляючих дій в умовах невизначеності роботи камерної сушарки, заснованих на методі нечіткого, нечутливого до зміни параметрів, управління камерної сушаркою.

Результати роботи використовувались при модернізації системи управління процесом сушіння в камері на підприємстві «Комплекс - Плюс» (м. Харків) для створення системи управління сушінням капілярно – пористих матеріалів та налаштування адаптивних нечітких регуляторів.

Основні положення дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі автоматики та управління в технічних системах НТУ «ХП» при дипломному проектуванні й викладанні дисциплін «Теорія автоматичного управління», «Сучасні проблеми і методи математичного та комп'ютерного моделювання» .

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, одержані самостійно. Серед них: оцінка чутливості оптимального управління в лінійній системі при квадратичному критерії якості, метод синтезу нечіткого регулятора та оптимізація його структури та параметрів, синтез адаптивний нечіткого регулятора стабілізації температури сушильного агента, моделювання процесу сушіння капілярно – пористих матеріалів в середовищі MatLAB.

Апробація результатів досліджень. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на: XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Автоматика-2006» (м.Вінниця, 2006), XVI, XVII, XXII Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м.Харків, 2007, 2009, 2015), XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Автоматика-2007» (м.Севастополь, 2007), IX Міжнародній науковій конференції «Контроль і управління в складних системах (м.Вінниця, 2008), XVIII

Міжнародній науково-практичній конференції «Автоматика-2011» (м.Львів, 2011), XXV Міжнародній науково-практичній конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» (м.Харків, 2012), I Науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених « Актуальні проблеми автоматизації і приладобудування України » (м.Харків, 2013).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 15 наукових публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні, 9 – у матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 153 сторінок; з них 20 рисунків по тексту, 2 рисунка на 2 окремих сторінках; 3 таблиці по тексту, список використаних джерел з 111 найменувань на 13 сторінках, 3 додатки на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету й задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, а також відомості про публікації, впровадження, апробацію і структуру роботи.

Перший розділ присвячено проблемному аналізу науково-технічної інформації щодо стану технічних рішень способів сушіння КІМ і методів їх автоматизації.

Проаналізовано сучасний стан питання щодо синтезу регуляторів, нечутливих до змін параметрів. Більшість адаптивних систем управління організовуються на класичних регуляторах або з використанням еталонної моделі об'єкта управління. У свою чергу, нечіткі регулятори використовують експертні знання для управління об'єктом. Отже, для налаштування таких регуляторів немає необхідності створювати адекватну математичну модель об'єкта управління, достатньо лише знати принципи і особливості регулювання змінних об'єкта управління. Доведено, що найбільшого поширення серед інтелектуальних технологій формування робастних і адаптивних алгоритмів регулювання та управління в галузі складних технічних систем, набула технологія нечіткого управління.

Другий розділ присвячений розробці методів аналізу чутливості до змін параметрів об'єкта в процесі управління.

Повітряні калориферні сушильні камери періодичної дії - це технологічні об'єкти, в яких висушують пиломатеріали в середовищі вологого повітря з підведенням тепла і видаленням вологи конвекційним способом. Конвекційна сушка деревини - це складний нестационарний процес теплообміну. Тому лісосушильна камера характеризується як нелінійні динамічні системи з розподіленими параметрами і взаємопов'язаними керуючими впливами. Такі системи в динаміці описуються нелінійними

диференціальними рівняннями в приватних похідних, що ускладнює вирішення завдань оптимізації управління перехідними процесами, а також збільшує складність реалізації оптимальних регуляторів.

У той же час при інтенсивній циркуляції агентів сушки нерівномірність розподілу температурного поля значно знижена, так що її максимальна величина в робочій зоні не перевищуватиме 5%. Поблизу робочого режиму статичні характеристики сушильних камер з достатнім ступенем точності приводяться до лінійності, а параметри камери в межах кожного технологічного циклу пропарювання вважаються стаціонарними.

Математична модель процесу сушіння в сушарці представлена лінійною двовимірною системою з двома керуючими діями у виді “сухої” і “вологої пари”, подаваної в обсяг камери, величина яких регулюється кутом відкривання відповідних заслінок. Умова підтримки постійної психрометричної різниці температур “сухого” θ_c і “вологого” θ_m термометрів дозволила перетворити структурну схему об'єкта до схеми з однією дією U_1 , що управляє. При цьому передатна функція об'єкта стала виродженою, тому що з'явилися дві пари співпадаючих полюсів і нулів, що відповідає об'єктові, що не повністю управляється.

$$K(s) = \frac{\theta(s)}{U_1(s)} = \frac{k_c(T_2s + 1)(T_4s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)(T_4s + 1)(T_{21}s + 1)} = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (1)$$

де θ – температура матеріалу, що висушується; k_c – загальний коефіцієнт передачі; $T_1, T_2, T_3, T_4, T_{21}$ – сталі часу; U_1 – управляюча дія, що визначає кількість тепла в кілокалоріях, подаваного в сушильну камеру за одиницю часу.

Задачі аналізу та синтезу робастного-стійких та робастносто-оптимальних систем управління безпосередньо пов'язані з проблемою оцінки чутливості управління, траєкторії руху та функціоналу якості до змін параметрів відповідних частин системи. Спочатку вирішується завдання оптимізації функціоналу без урахування зміни параметрів, а потім досліджується вплив цих змін на закон управління і траєкторію руху.

Аналізується лінійна стаціонарна система управління етапу пропарювання, описувана векторним рівнянням

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t), \quad (2)$$

де $A - n \times n$ матриця, B – матриця $m \times m$ ($m \leq n$), $\bar{x}(t)$ та $\bar{u}(t)$ – вектор - стовпці відповідної розмірності.

Потрібно визначити управління, яке мінімізує квадратичний критерій

$$J = \int_0^{\infty} (\bar{x}^T Q \bar{x} + \bar{u}^T R \bar{u}) dt, \quad (3)$$

де $Q (n \times n)$ та $R (m \times m)$ – позитивно певні матриці, що не залежать від часу.

Відомо, що оптимальне управління при цьому має вигляд:

$$\bar{u}_{opt} = -R^{-1}B^T P\bar{x} = -K\bar{x}, \quad (4)$$

де P - симетрична, позитивно певна матриця з постійними коефіцієнтами, що визначається з матричного алгебраїчного рівняння Ріккати

$$PBR^{-1}B^T - A^T P - PA - Q = 0. \quad (5)$$

Визначають мінімальне значення функціоналу (4) $J_{\min} = (\bar{x}^T P\bar{x})|_{t=0}$.

Якщо зміни параметрів вважати досить малими, то для визначення чутливості закону управління обмежуються лінійними членами розкладання.

В роботі доведено, що при деяких поєднаннях змін параметрів в матрицях системи A і B оптимальний закон залишається колишнім або, принаймні, мало відрізняється від номінального. Розглянуто метод одночасної оцінки чутливості функціоналу та чутливості траєкторії на прикладі стаціонарної автономної системи першого порядку. Знайдена залежність пов'язує функцію чутливості функціоналу з функціями чутливості оптимального керування та оптимальної траєкторії, що дозволяє в кожному конкретному випадку оцінювати вплив зміни параметрів технологічного процесу на величину показника якості і на можливі помилки виконання технічного завдання.

При великій кількості варійованих параметрів і відносно високому порядку рівнянь об'єкта, рішення, навіть якщо воно і може бути отримано у вигляді кінцевих залежностей, виявляється дуже громіздким і не піддається аналізу в загальному вигляді. По-друге, в переважній більшості випадків, головною вимогою до об'єкта управління є обов'язкове виконання граничних умов, що пов'язано з відповідним технологічним процесом, а мінімізація критерію якості є вторинним чинником.

Проаналізовані можливості теорії нечітких множин щодо аналізу чутливості при варіації параметрів. Вхідна x і вихідна y нечіткі змінні суб'єктивно характеризуються функціями належності $\mu_x(x)$ і $\mu_y(y)$ відповідно (рис.1). Константи \tilde{x}_i і A_i призначаються розробником системи суб'єктивно, а константи \tilde{y} , B і C визначаються об'єктивно за допомогою детермінованої математичної моделі або цільової функції і виступають як необхідні обмеження.

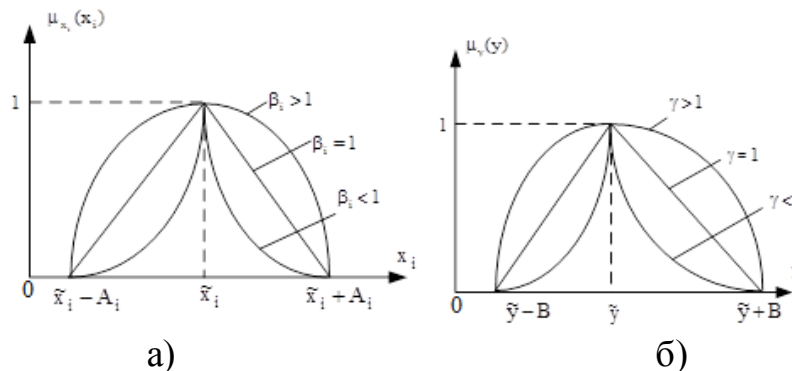


Рисунок 1- Функція приналежності нечіткої змінної x (а) та функція приналежності нечіткої змінної y (б)

Для системи з передатною функцією $H(p; T, k) = \frac{k}{Tp+1}$, інтегральна динамічна похибка має вигляд

$$\varepsilon(k, T) = \int_0^{\infty} |k - y(t)| dt = \int_0^{\infty} k \cdot e^{-\frac{t}{T}} dt = k \cdot T. \quad (6)$$

Лінійні функції належності для параметрів k і T , які характеризують значення можливого відхилення параметрів, описувані залежностями

$$\mu_k(k) = 1 - \frac{|k - \tilde{k}|}{A_1}, \quad \mu_T(T) = 1 - \frac{|T - \tilde{T}|}{A_2}. \quad (7)$$

Отже, можна записати

$$k = \begin{cases} \tilde{k} + [1 - \mu_k(k)]A_1 & \text{для } k \geq \tilde{k}, \\ \tilde{k} - [1 - \mu_k(k)]A_1 & \text{для } k < \tilde{k}. \end{cases} \quad (8)$$

$$T = \begin{cases} \tilde{T} + [1 - \mu_T(T)]A_2 & \text{для } T \geq \tilde{T}, \\ \tilde{T} - [1 - \mu_T(T)]A_2 & \text{для } T < \tilde{T}. \end{cases} \quad (9)$$

На рис.2 зображено поверхню відгука при моделюванні розкиду параметрів системи управління сушаркою.

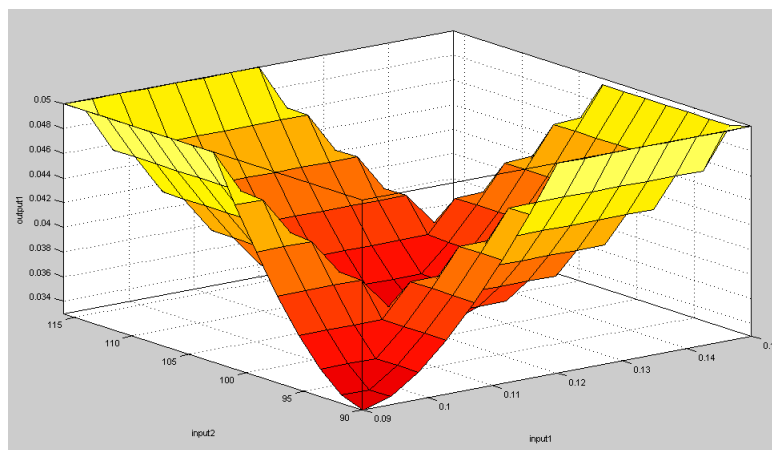


Рисунок 2 - Пошук мінімуму динамічної похибки

Найгірший випадок (максимум динамічної похибки) має місце, коли змінні k і T приймають найбільші значення: $k \geq \tilde{k}$, $T \geq \tilde{T}$.

Третій розділ присвячений синтезу нечіткого управління камерної сушарки періодичної дії. Виконано порівняльний аналіз методів управління та зроблено висновок щодо залежності процесу синтезу регуляторів від ступеня вивченості об'єкту управління.

На нечіткий регулятор покладається завдання вироблення керуючого впливу в діапазоні зміни динамічної помилки регулювання і її похідної щодо її порогових значень. Вхідний вектор нечіткого регулятора перетвориться в нечітку форму за допомогою блоку фаззифікації, потім виконується нечіткий логічний висновок у базі правил, в результаті чого виходить нечітка вихідна

змінна u^* . Переклад значень вектору управління u^* з нечіткої області в чітку u здійснюються блоком дефаззифікації.

Передобробка вхідного сигналу помилки регулювання і її похідної здійснюється за формулою

$$e_i^N = \begin{cases} e_i, & |e_i| < e_i^{max}; \\ e_i^{max} \text{ sign}(e_i), & |e_i| \geq e_i^{max}. \end{cases} \quad (10)$$

Післяобробка вихідного керуючого сигналу u здійснюються рішенням задачі денормалізації u

$$u = u_N DN = u_N |u_{max}|, \quad (11)$$

де u_{max} - максимальне значення управління, що подається до об'єкту.

Зазвичай, база знань нечіткого регулятора містить опис термів лінгвістичний змінних, які повинні визначатися заздалегідь для кожної вхідний і вихідний змінної. Для цього введемо такі лінгвістичні змінні

$$e_1 = (\text{" Помилка керування "}, T_{e_1}, E_1),$$

$$e_2 = (\text{"Похідна помилки "}, T_{e_2}, E_2)$$

та

$$u = (\text{"Керування"}, T_u, U),$$

де $T_{e_i} = \{T_{e_i}^1, T_{e_i}^2, \dots, T_{e_i}^k\}$, $i = \overline{1, k}$, $T_u = \{T_u^1, T_u^2, \dots, T_u^k\}$ –

терм-множини значень лінгвістичних перемінних e_1, e_2 відповідними функціями належності;

$$T_{e_i}^l = \mu_{e_i}^l(e_i), \quad T_u^l = \mu_l(u), \quad l = \overline{1, k} \quad (12)$$

заданими відповідно на універсальних множинах

$$E_i = [E_{i \min}, E_{i \max}], \quad U = [U_{\min}, U_{\max}]. \quad (13)$$

Кожній вхідний і вихідний лінгвістичної змінної $T_x = \{T_e, T_{e/dt}, T_u\}$ відповідають 7 термів з трикутними функціями приналежності:

$$\mu_{T_x}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{коли } x \leq a, \\ (x - a)/(b - a), & \text{коли } a \leq x \leq b, \\ (c - x)/(c - b), & \text{коли } b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{коли } c \leq x. \end{cases} \quad (14)$$

Тоді результатом фазифікації є лінгвістичні змінні

$$e_1' = \ll \text{Помилка} \gg = [\mu_{NB_e}(e)/NB_e, \mu_{NM_e}(e)/NM_e, \mu_{NS_e}(e)/NS_e, \mu_{ZE_e}(e)/ZE_e, \mu_{PS_e}(e)/PS_e, \mu_{PM_e}(e)/PM_e, \mu_{PB_e}(e)/PB_e];$$

$$e_2' = \ll \text{Швидкість помилки} \gg = [\mu_{NB_{e/dt}}(e/dt)/NB_{e/dt}, \mu_{NM_{e/dt}}(e/dt)/NM_{e/dt}, \mu_{NS_{e/dt}}(e/dt)/NS_{e/dt}, \mu_{ZE_{e/dt}}(e/dt)/ZE_{e/dt}, \mu_{PS_{e/dt}}(e/dt)/PS_{e/dt}, \mu_{PM_{e/dt}}(e/dt)/PM_{e/dt}, \mu_{PB_{e/dt}}(e/dt)/PB_{e/dt}];$$

$$u^* = \ll \text{Керування} \gg = [\mu_{NB_u}(u)/NB_u, \mu_{NM_u}(u)/NM_u, \mu_{NS_u}(u)/NS_u, \mu_{ZE_u}(u)/ZE_u, \mu_{PS_u}(u)/PS_u, \mu_{PM_u}(u)/PM_u, \mu_{PB_u}(u)/PB_u].$$

Далі формується база правил логічного виводу у вигляді

ЯКЩО $(T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j)$ ТО $T_u^j, j = \overline{1,7}$,

де $T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j$ - декартовий додток нечітких множин E_1 і E_2 , заданих на шкалах E_1 і E_2 з функцією приналежності

$$\mu_{(T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j)}(e_1, e_2) = \mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2), \quad (15)$$

то T_u^j – відповідна вихідна нечітка множина, яке визначається нечітким відношенням

$$R^j = (T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j) \times T_u^j, j = \overline{1,7} \quad (16)$$

з функцією приналежності

$$\mu_{R^j}((e_1, e_2), u^*) = \left(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2) \right) \wedge \mu_{T_u^j}(u^*). \quad (17)$$

Сукупність усіх правил, відповідних нечіткому відношенню $R = \bigcup_{j=1}^7 R^j$ з функцією приналежності

$$\mu_R((e_1, e_2), u^*) = \bigvee_{j=1}^7 \left[(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2)) \wedge \mu_{T_u^j}(u^*) \right], \quad (18)$$

визначає базу знань нечіткого регулятора і задає закон функціонування нечіткої системи.

Таким чином, при заданих значеннях вхідних лінгвістичних змінних $T_{e_1}^j$ і $T_{e_2}^j$ вихідне значення нечіткого регулятора визначається на основі наступного композиційного правила $B^j = (T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j) \bullet R$ зі ступенем приналежності

$$\mu_{T_u^j}(u^*) = \bigvee_{e_1 \in E_1, e_2 \in E_2} \left[(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2)) \wedge \mu_R(e_1, e_2, u^*) \right]. \quad (19)$$

У випадку, коли лінгвістичним змінним вхідних сигналів e_1, e_2 відповідають нечіткі множини T'_{e_1} і T'_{e_2} нечітка множина лінгвістичної змінної сигналу керування u^* визначається наступним чином

$$\mu_{T_u''}(u^*) = \max_{e_1, e_2} \left\{ \left[\prod_{i=1}^n \mu_{T'_{e_1}}(e_i) \right] \cdot \left[\min_{j=1}^m \left[\prod_{i=1}^n \mu_{T'_{e_j}}(e_i) \right] \cdot \mu_{T_u^j}(u^*) \right] \right\}. \quad (20)$$

Для отримання реального значення вихідного сигналу нечіткого регулятора здійснюється процес дефазифікації

$$u = \sum_{n=1}^9 u_n^* \mu_{T_u}(u_n^*) / \sum_{n=1}^9 \mu_{T_u}(u_n^*). \quad (21)$$

Функцію приналежності нечіткого значення представляють у вигляді

$$\mu_{T_u''}(u) = \begin{cases} \prod_{i=1}^n \mu_{T'_{e_i}}(e_i), & u = \lambda^j, \\ 0, & u \neq \lambda^j, \end{cases} \quad (22)$$

де λ^j - дискретні чисельні значення вихідного сигналу.

Тоді визначальне значення вихідного сигналу нечіткого регулятора на етапі дефазифікації обчислюється як

$$u = \sum_{j=1}^m \lambda^j \left[\prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i) \right] / \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i), \quad (23)$$

або
$$u(\bar{e}, \bar{\lambda}) = \sum_{j=1}^m \lambda^j \zeta_j(\bar{e}), \quad (24)$$

де
$$\zeta_j(\bar{e}) = \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i) / \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i). \quad (25)$$

Таким чином, у разі повноти і несуперечливості бази правил нечіткого логічного висновку, закон функціонування нечіткого регулятора визначається видом і розподілом по діапазону регулювання функцій приналежності і вибраним алгоритмом нечіткого виводу.

Запропонований алгоритм синтезу нечітко-логічного регулятора дозволяє використовувати стандартну форму опису лінгвістичних змінних і мінімальний набір управляючих правил.

База правил нечіткого регулятора надана в табл. 1, у якій позначення: N - негативне, Z - нульове, P - позитивне, NB - велике негативне, NM - середнє негативне, ZE - близьке до нульового, PM - середнє позитивне, PB - велике позитивне.

Таблиця 1- База правил нечітко-логічного регулятора

$e_1 \backslash e_2$	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
NB	NB	NB	NB	PS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

В процесі визначення оптимальних параметрів і структури нечіткого регулятора, що забезпечує мінімальне значення критерію якості, проаналізована схема найпоширенішого нечіткого дискретного регулятора, в якому є два входи: помилка керування $e(k)$ та її зміна $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ або швидкість $\dot{\Delta} e(k) = \Delta e(k) / \Delta t$ та один вихід $u(k)$ – управління в моменти часу $k\Delta t$, $k = 1, 2, \dots, N$, де Δt – шаг дискретизації.

Дійсні значення входів e , Δe за допомогою нормалізуючих коефіцієнтів K_e , $K_{\Delta e}$, перетворюються в нормалізовані \hat{e} , $\hat{\Delta e} \in [-1, 1]$. Центральним елементом нечіткого регулятора служить нечіткий оператор $\tilde{f}_{\text{ПД}}$, що виконує операції фаззифікації, нечіткого виводу і дефаззифікації містить базу правил (26) або (27). Коефіцієнти K_e , $K_{\Delta e}$ і K_u нечіткого ПД-регулятора не можуть бути однозначно визначені. Отже, для нечіткого ПД-регулятора потрібно вирішувати задачу оптимізації, а саме завдання вибору

значень зазначених коефіцієнтів, що мінімізують критерій якості перехідного процесу при виконанні обмежень. Завдання побудови і моделювання систем управління, а також оптимізації коефіцієнтів нечітких ПД-регуляторів було виконано за допомогою програмних засобів MatLAB-Simulink.

При визначенні оптимальних параметрів і структури нечіткого ПД-регулятора знаходяться параметри лінійного ПД-регулятора, наступним кроком є приведення нечіткого ПД-регулятора до лінійного та визначення його коефіцієнтів. У процесах моделювання та оптимізації використані два типи нечітких регуляторів. Нечіткий регулятор ПД2 піддається оптимізації в тому випадку, коли оптимізація нечіткого регулятора ПД1 не забезпечує необхідної якості перехідного процесу.

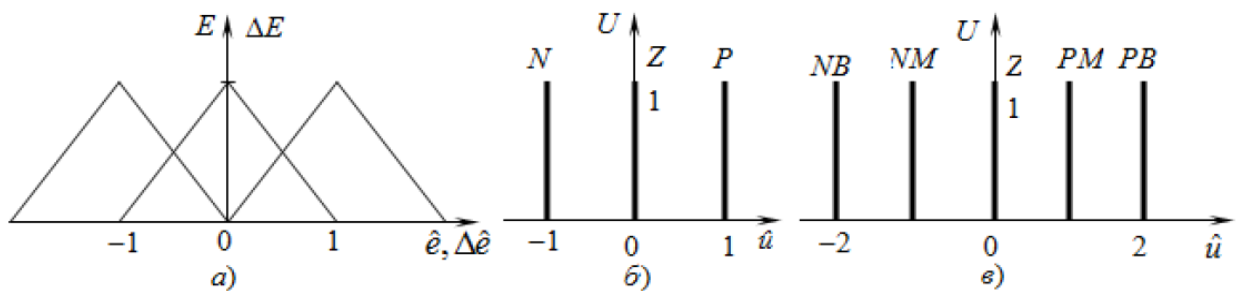


Рисунок 2 - Трикутна (а) і синглетонові (б), (в) функції приналежності

Нечіткий оператор містить 4 або 9 правил, отриманих при заміні $\Delta \hat{u}_{ni}$ на $\hat{u}_{пд}$

$$\begin{aligned}
 R_{ПД}^1: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in N, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in N; \\
 R_{ПД}^2: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in P, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in Z; \\
 R_{ПД}^3: & \text{якщо } \hat{e} \in P, \Delta \hat{e} \in N, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in Z; \\
 R_{ПД}^4: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in P, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in P;
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}
 R_{ПД}^1: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in N, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in NB; \\
 R_{ПД}^2: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in Z, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in NM; \\
 R_{ПД}^3: & \text{якщо } \hat{e} \in N, \Delta \hat{e} \in P, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in ZE; \\
 R_{ПД}^4: & \text{якщо } \hat{e} \in Z, \Delta \hat{e} \in N, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in NM; \\
 R_{ПД}^5: & \text{якщо } \hat{e} \in Z, \Delta \hat{e} \in Z, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in ZE; \\
 R_{ПД}^6: & \text{якщо } \hat{e} \in Z, \Delta \hat{e} \in P, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in PM; \\
 R_{ПД}^7: & \text{якщо } \hat{e} \in P, \Delta \hat{e} \in N, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in ZE; \\
 R_{ПД}^8: & \text{якщо } \hat{e} \in P, \Delta \hat{e} \in Z, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in PM; \\
 R_{ПД}^9: & \text{якщо } \hat{e} \in P, \Delta \hat{e} \in P, \text{ тоді } \hat{u}_{пд} \in PB.
 \end{aligned} \tag{27}$$

На рис. 3 зображено структурну схему в MatLAB-Simulink системи управління з нечітким регулятором для процесу оптимізації параметрів нечіткого регулятора.

При оптимізації коефіцієнтів нечіткого ПД1-регулятора середня-модульна помилка не ставала нижче 28.4%. Для її зниження побудовано модель з нечітким ПД2-регулятором і правилами (27). У ході моделювання системи управління найкраща реакція на одиничний стрибок була отримана при $K_e = 0,8$, $K_{de} = 1,784$, $K_u = 1,576$, зі середньо-модульної помилкою 14,23%

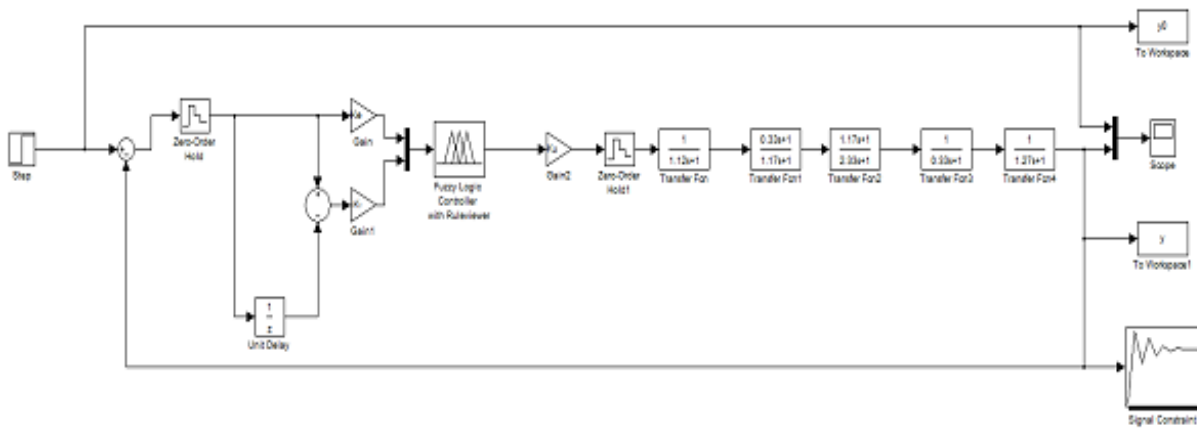


Рисунок 3 - Структурна схема системи управління з нечітким регулятором

Зі зазначеними початковими значеннями коефіцієнтів проведено їх оптимізацію, в результаті отримана задовільна середньо-модульна помилка 2,056% при наступних значеннях коефіцієнтів:

$K_e = 64,1458$; $K_{de} = 0,0001118$; $K_u = 0,964$.

Четвертий розділ присвячений розробці імітаційних моделей процесу сушіння при різних способах сушіння та синтезу адаптивного нечіткого регулятора.

Запропонована функціональна схема системи управління сушильної камери періодичної дії. У корпус камери поміщений штабель пиломатеріалу. Нагрівання повітря в камері проводиться за допомогою теплоелектронагрівачів (ТЕНи), керованих автоматизованою системою управління сушильною камерою за заданою програмою. Періодичний продув камери здійснюється за допомогою відцентрового вентилятора, що приводиться в рух асинхронним двигуном, що живиться від перетворювача частоти, який керується автоматизованою системою управління (АСУ). При цьому виведення вологого повітря, що пройшло через штабель, проводиться через клапан, оснащений шибером з електроприводом, керованим АСУ. Контроль температури і вологості в камері і всередині штабелі здійснюється за допомогою датчиків температури й вологості, сигнал від яких передається в АСУ, яка через адаптер мережі підключена до персонального комп'ютера (ПК), за допомогою якого в систему вносяться програми сушки і ведеться контроль процесу.

Отримано віртуальні моделі камерної сушки при різних методах сушіння КППМ, а саме, при природній та комбінованій циркуляції агенту

сушіння. За допомогою програмних засобів MatLAB-Simulink знайдені графіки зміни температури, вологості і температури повітря в камері при різних методах сушіння КПМ. На рис. 4 надана функціональна схема системи управління сушильної камери періодичної дії, а на рис. 5 зображено графіки зміни температури, вологості і температури повітря в камері при природній циркуляції агенту сушіння.



Рисунок 4 – Функціональна схема системи управління сушильної камери періодичної дії

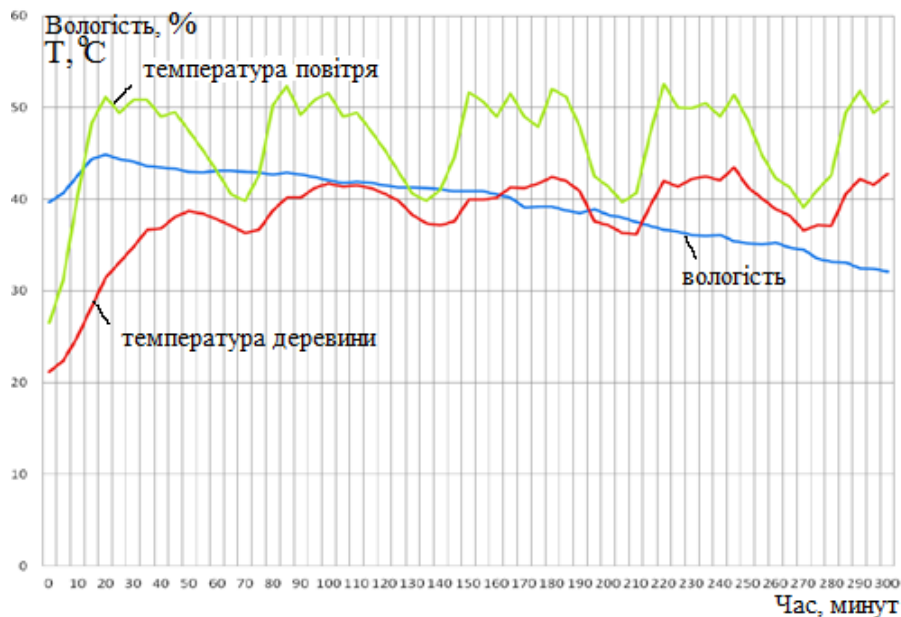


Рисунок 5 – Графіки зміни температури, вологості і температури повітря в камері при природній циркуляції агенту сушіння

Синтезовано адаптивний нечіткий регулятор стабілізації температури сушильного агенту, який дозволяє в широкому діапазоні факторів, що збурюють, отримати мінімальний покращений критерій якості системи управління в порівнянні з класичним регулятором.

Класичний ПІ-регулятор з фіксованою настройкою на усереднене значення дав задовільні результати тільки в деякій області зміни впливів, що збурюють, при яких регулятор був налаштований (рис.6,а). Однак, регулятор з нечіткою логікою дає задовільну якість регулювання на всьому діапазоні змін факторів, що збурюють (рис.6,б).

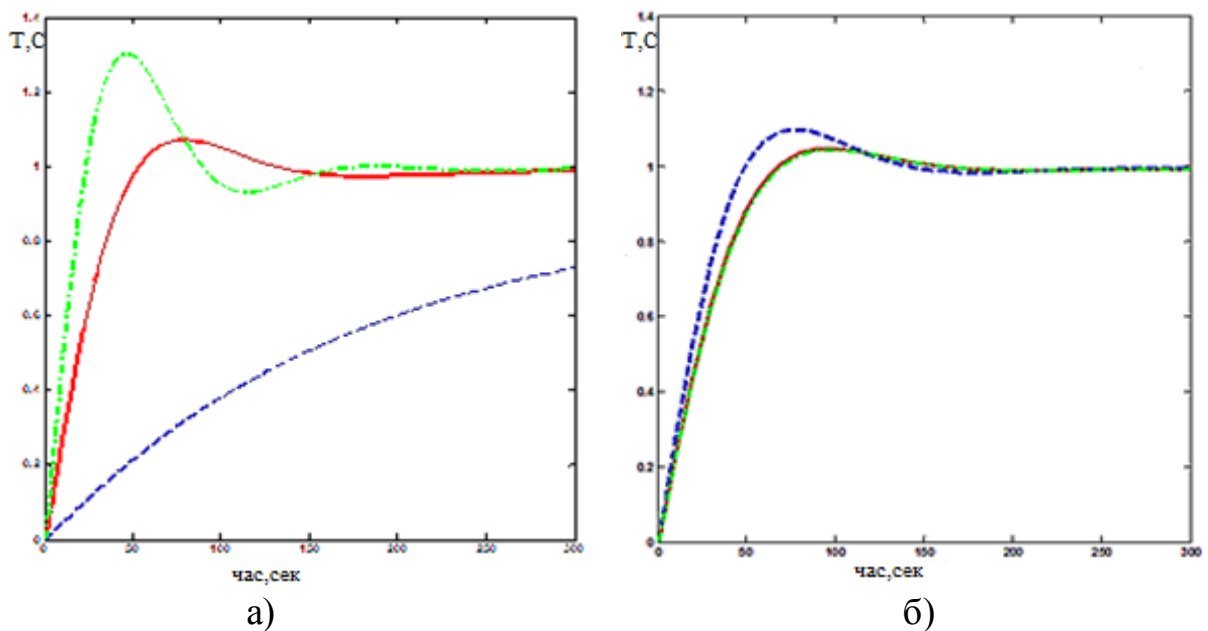


Рисунок 6 – Перехідні процеси у системі управління з класичним регулятором (а) і нечітким регулятором (б)

Розроблено технічне рішення контролера нечіткої логіки, що створено в пакеті Quartus II, який реалізує функції приналежності трикутного та трапецевидного типу (рис.7).

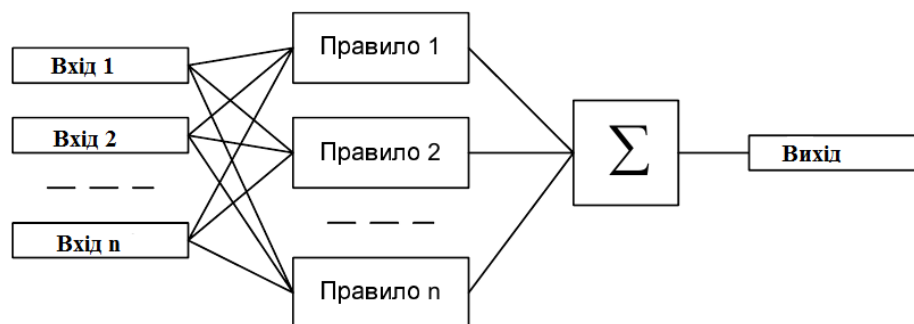


Рисунок 7 – Функціональна структура контролера нечіткої логіки

В системі нечіткого виводу суттєве значення має множина використуваних в системі нечітких правил, база даних, що містить опис функцій приналежності, а також механізм виведення і агрегування (підсумовування), який формується застосовуваними правилами імплікації. В якості вхідних і вихідних сигналів виступають вимірювані величини, однозначно зіставляють вхідним значенням відповідні вихідні значення. Для забезпечення взаємодії множин цих двох видів вводиться нечітка система з фаззифікатором (перетворювачем множини вхідних даних в нечітку множину) на вході і дефаззифікатором (перетворювачем нечітких множин в конкретне значення вихідної змінної) на виході.

У **додатках** наведено імітаційні моделі процесу сушіння при різних способах сушіння в MatLAB -Simulink, а також результати синтезу нечітких регуляторів у FIS редакторі MatLAB. Наведені акти впровадження в навчальний процес кафедри автоматики та управління в технічних системах НТУ «ХП», а також використання результатів дослідження за для модернізації камерної сушарки на підприємстві ТОВ «Комплекс - Плюс».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення ефективності систем управління процесами конвекційного сушіння КПМ на основі синтезу нечітких систем управління та теоретичного узагальнення систематизованих модельних і експериментальних досліджень процесів сушіння.

Основні результати досліджень:

1. На основі аналізу науково-технічних джерел, стану і тенденцій розвитку процесів та систем управління обґрунтовано необхідність нового підходу до системи управління камерною сушаркою періодичної дії на основі регуляторів, що побудовані на базі нечіткої логіки. Цей підхід, у ряді випадків, дозволяє забезпечити більш високі показники якості перехідних процесів, порівняно з класичними регуляторами, та оптимізацію складних контурів регулювання без проведення досліджень, щодо уточнення математичної моделі.

2. Удосконалено метод аналізу чутливості оптимального управління в лінійній системі при квадратичному критерії якості, який дозволив отримати умови нечутливості цього управління в замкнутій системі до малих змін параметрів. Показано, що в загальному випадку необхідно спільне дослідження чутливості функціонала, що оптимізується і чутливості оптимальної траєкторії руху. Знайдена формула одночасної оцінки чутливості функціонала і чутливості фазової траєкторії приводить до дуже складної системи рівнянь, що у більшості випадків не розв'язні в радикалах.

3. Теорія нечітких множин надає можливість аналізувати чутливість при варіації параметрів системи управління сушаркою періодичної дії та прогнозувати оптимальні відхилення динамічної похибки.

4. Здійснено синтез нечітких регуляторів з оптимізацією їх параметрів і структури та запропоновано структурну схему нечіткого контролера, що забезпечує задану якість управління процесу сушіння.

5. Розроблені імітаційні моделі процесу сушіння КПМ, що описують зміну температури і вологості при природній та комбінованій циркуляції сушильного агента в камерній сушарці періодичної дії та використовуються для налаштування адаптивних нечітких регуляторів.

6. Синтезований адаптивний нечіткий регулятор стабілізації температури сушильного агента дозволяє в широкому діапазоні факторів, що збурюють, отримати мінімальний покращений критерій якості системи управління в порівнянні з класичним регулятором. Розроблено технічне рішення контролера нечіткої логіки, що створено в пакеті Quartus II.

Результати моделювання в середовищі MatLAB -Simulink і дослідної експлуатації на підприємстві «Комплекс - Плюс» свідчать про працездатність та ефективність створеної системи управління сушінням капілярно – пористих матеріалів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Євсіна Н.О. Чувствительность оптимальных управлений в линейной системе к изменениям параметров / Н.О.Євсіна, О.І. Рогачов, М.Р. Попов //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», – 2006. – № 9 – С. 40-45.

Здобувачу належить вивід рівняння, яке дає змогу одночасно урахувати як чутливість функціоналу, так і чутливість оптимальної траєкторії.

2. Євсіна Н.О. Уменьшение чувствительности в энергосберегающей линейной системе / Н.О.Євсіна, О.І. Рогачов //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», – 2006. – № 31 – С.48-52.

Здобувачем аналізується чутливість до зміни параметрів оптимальних лінійних систем з квадратичним критерієм якості. Отримано вирази для оцінки чутливості управління і наведено приклад.

3. Євсіна Н.О. Чувствительность энергосберегающего управления нестационарными режимами технологических процессов / Н.О.Євсіна, О.І. Рогачов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», – 2007. – № 10– С. 91-95.

Здобувачем проаналізовано вплив малих варіацій параметра на оптимальну траєкторію руху для лінійних по відношенню до управління систем з релейним законом оптимального управління і незадалим кінцевим часом.

4. Євсіна Н.О. Анализ способов сушки капиллярно-пористых материалов и методов их автоматизации / Н.О. Євсіна // Вісник

Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», – 2011. – № 57 – С. 88-91.

5. Євсіна Н.О. Робастно-оптимальное управление линейной системой / Н.О. Євсіна, О.В. Дудник, Ю.І. Дорошенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрГАЗТ – 2014. – №2(105). – С. 51-54.

Здобувачем запропоновані етапи синтезу оптимально-робастного регулятора для системи управління сушінням.

6. Євсіна Н.О. Применение аппарата нечеткой логики для анализа параметров в системе управления камерной сушилкой / Н.О. Євсіна // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева – Алмата, Казахстан: КазАТК, 2015. – №4(94) – С.58-65.

7. Євсіна Н.О. Чувствительность оптимальных систем управления к изменениям параметров при квадратичном критерии оптимальности // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика-2006» (Вінниця, 25-28 вересня) – Вінниця : ВНТУ, 2006 – С. 10.

Здобувачу належить вивід рівняння, яке дає змогу одночасно урахувати як чутливість функціоналу, так і чутливість оптимальної траєкторії.

8. Євсіна Н.О. Влияние изменения параметров объекта на траекторию оптимального движения // Тези доповідей XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 4-6 червня) – Харків: НТУ «ХПІ», 2007 – С. 279 - 280.

Здобувачем проаналізовано вплив малих варіацій параметра на оптимальну траєкторію руху для лінійних по відношенню до управління систем.

9. Євсіна Н.О. Оптимальное управление процессом сушки капиллярно-пористых материалов при различных критериях оптимальности / Н.О.Євсіна, О.І. Рогачов, М.А.Денисенко // Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика-2007» (Севастополь, 10-14 вересня) – Севастополь : , 2007 – С.135.

Здобувачем аналізується чутливість до зміни параметрів оптимальних лінійних систем з квадратичним критерієм якості.

10. Євсіна Н.О. Управление процессом сушки КППМ на основе предсказаний / Н.О.Євсіна, О.І. Рогачов, М.А.Денисенко // Тези доповідей IX Міжнародної наукової конференції «Контроль та управління в складних системах (Вінниця, 21-24 жовтня) – Вінниця : ВНТУ – 2008. – С. 17.

Здобувачем запропонована уточнена математична модель процесу сушіння.

11. Євсіна Н.О. Энергосберегающее управление процессом сушки капиллярно-пористых материалов при минимизации расхода теплоносителя / Н.О. Євсіна, О.І. Рогачов, М.А.Денисенко // Тези доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології:

наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 20-22 травня) – Харків: НТУ «ХП», 2009 – С. 424 – 425.

12. Євсіна Н.О. Оптимальное управление технологическим процессом сушки капиллярно-пористых материалов / Н.О. Євсіна, О.І. Рогачов // Тези доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика-2011» (Львів, 28-30 вересня) – Львів: НТУ «Львівська політехніка», 2011 – С.135.

13. Євсіна Н.О. Чувствительность управлений нестационарными режимами технологических процессов // Тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» (Харків, 12-13 грудня) – Харків: НТУ «ХП», 2012 – С.34-35

14. Євсіна Н.О. Нечіткий регулятор у системі управління сушаркою / Н.О. Євсіна // Тези доповідей 1-ої Науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування України» (Харків, 12-13 грудня) – Харків: НТУ «ХП», 2013 – С. 38–40.

15. Євсіна Н.О. Сравнение нечетких и классических регуляторов / Н.О. Євсіна // Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 15-17 травня) – Харків: НТУ «ХП», 2015 – С. 123–125.

АНОТАЦІЇ

Євсіна Н.О. Синтез нечіткого регулятора для системи управління процесом сушіння капілярно – пористих матеріалів – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13. 03 – системи та процеси управління. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2015.

Дисертацію присвячено розробці та вдосконаленню методу синтезу нечіткого регулятора, який забезпечує задану якість управління сушінням капілярно – пористих матеріалів в конвекційній сушарці періодичної дії та дозволяє створювати системи управління, що спираються на експертні знання.

Удосконалено метод аналізу чутливості оптимального управління в лінійній системі при квадратичному критерії якості, який дозволив отримати умови нечутливості цього управління в замкнутій системі до малих змін параметрів. Показано, що в загальному випадку необхідно спільне дослідження чутливості функціонала, що оптимізується і чутливості оптимальної траєкторії руху.

Запропоновано алгоритм синтезу нечітко-логічного регулятора, що дозволяє використовувати стандартну форму опису лінгвістичних змінних і мінімальний набір керуючих правил. Здійснено синтез нечітких регуляторів з оптимізацією їх параметрів і структури та запропоновано структурну схему нечіткого контролера.

В роботі розроблені імітаційні моделі процесу сушіння КПМ, що описують зміну температури і вологості при природній та комбінованій циркуляції сушильного агенту в камерній сушарці періодичної дії, які використовуються для налаштування адаптивних нечітких регуляторів.

Синтезований адаптивний нечіткий регулятор стабілізації температури сушильного агенту дозволяє в широкому діапазоні факторів, що збурюють, отримати мінімальний покращений критерій якості системи управління в порівнянні з класичним регулятором.

Ключові слова: система управління сушінням, нечіткий регулятор, капілярно – пористі матеріали, чутливість оптимального управління.

Евсина Н.А. Синтез нечеткого регулятора для системы управления процессом сушки капиллярно - пористых материалов - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13. 03 - системы и процессы управления. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2015.

Диссертация посвящена разработке и совершенствованию метода синтеза нечеткого регулятора, который обеспечивает заданное качество управления сушкой капиллярно - пористых материалов в конвекционной сушилке периодического действия и позволяет создавать системы управления, опирающиеся на экспертные знания .

В диссертационной работе усовершенствован метод анализа чувствительности оптимального управления в линейной системе при квадратичном критерии качества, который позволил получить условия нечувствительности этого управления в замкнутой системе к малым изменениям параметров. Показано, что в общем случае необходимо совместное исследование чувствительности оптимизируемого функционала и чувствительности оптимальной траектории движения.

Предложенный в работе алгоритм синтеза нечеткого логического регулятора позволяет использовать стандартную форму описания лингвистических переменных и минимальный набор управляющих правил.

В работе выполнена оптимизация параметров и структуры нечетких регуляторов, что позволяет с небольшим количеством управляющих правил решать задачу выбора значений коэффициентов регулятора, который минимизирует критерий качества переходного процесса.

Рассмотрена процедура синтеза адаптивно-нечеткого регулятора стабилизации температуры сушильного агента, который в широком диапазоне возмущающих факторов обеспечивает минимальный улучшенный критерий качества системы управления в сравнении с классическим регулятором.

В работе предложена функциональная схема системы управления конвективной сушилкой периодического действия и разработаны имитационные модели процесса сушки капиллярно - пористых материалов,

описывающие регулирование температуры и влажности при естественной и комбинированной циркуляции сушильного агента. Полученные модели используются при наладке адаптивных нечетких регуляторов.

Разработана принципиальная схема контроллера нечеткой логики, созданная в пакете Quartus II, реализующая функции принадлежности треугольного и трапецевидного типа.

Ключевые слова: система управления сушкой, нечеткий регулятор, капиллярно - пористые материалы, чувствительность оптимального управления.

Yevsina N.A. Synthesis of a fuzzy regulator to control the system of the capillary and porous materials drying process. – Manuscript.

The thesis on Candidate Degree in Technical Sciences: Specialty 05.13. 03 - management systems and processes.– National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov 2015.

This thesis is devoted to the development and improvement of the synthesis method of a fuzzy regulator which ensures the specified quality to control the drying of the capillary and porous materials in a convection oven of periodic action and allows creating the control systems basing on the expert knowledge. The work describes the improved method of the optimal control sensitivity analysis in a linear system with a quadratic quality criterion which allowed obtaining the control insensitivity conditions to a slightly changed parameters in a closed system. Basing on the performed analysis the thesis shows the necessity to perform a joint research of the optimized functionality sensitivity and the sensitivity of the optimal movement trajectory.

The thesis offers a simple synthesis algorithm of the fuzzy and logical regulator which provides the ability to use a standard format describing the linguistic variables and a minimum set of the operating rules. The regulators built on the basis of fuzzy logic in some cases are capable to provide higher quality rates of the transition processes in comparison with classic regulators. Using the synthesis methods of fuzzy control algorithms, it is possible to optimize the difficult control loops omitting mathematical model specification.

Key words: drying system control, fuzzy regulator, capillary and porous materials, sensitivity of optimum control.

