

Н. О. Євсіна, А. О. Зуєв, А. І. Гапон, М. А. Денисенко, М. В. Тарасенко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У КАМЕРНІЙ СУШАРЦІ

Анотація. Метою статті є синтезування нечіткого логічного регулятора температури сушіння капілярно - пористих матеріалів, що дозволяє використовувати стандартну форму опису лінгвістичних змінних і мінімальний набір керуючих правил. Визначено, що простота ПД-регулятора, яка виражена через усього три параметри налаштування і зрозумілість фізичного змісту кожного з них, разом з тим зумовлює зменшення кола задач, де він може бути використаний ефективно. Для складних теплових об'єктів керування необхідно застосовувати більш досконалу структуру регулятора. Запропоновано використовувати нечітке управління при недостатньому знанні щодо об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним. На нечіткій регулятор покладається завдання вироблення впливу, що управляє, в діапазоні зміни динамічної помилки регулювання і її похідної щодо її порогових значень. У результаті синтезованого нечіткого логічного регулятора надає системі автоматичного регулювання здатність підтримувати на заданому рівні температуру сушарки за наявності зовнішніх збурень, а також якісно керувати технологічним процесом сушіння капілярно-пористих матеріалів при широкому діапазоні зміни його параметрів у часі.

Ключові слова: капілярно-пористі матеріали, нечітке управління, адаптивний нечіткий логічний регулятор, математична модель, функція приналежності, дефазифікація.

Вступ

Сучасні сушильні комплекси являють собою складні системи, що функціонують в умовах великої невизначеності, не повноти знань і нечіткості описів як самої системи, так збурень, що діють на неї. Для управління такими об'єктами недостатньо застосування класичних методів теорії управління і виникає необхідність розробки нових методів і підходів із залученням досягнень сучасних інформаційних технологій. Один із таких підходів [1], що базується на теорії нечітких множин та нечіткої логіки, є основою створення системи управління технологічними об'єктами, що функціонують в умовах невизначеності інформації.

В цьому випадку для підвищення ефективності управління технологічними об'єктами із застосуванням сучасних методів управління необхідно вирішити такі завдання:

- оцінка показників якості невизначеності [2];
- зниження (або компенсація) апріорної невизначеності знань про процес за рахунок використання оперативної інформації від засобів вимірювання та побудови контуру адаптації [3];
- формування такого закону управління, який би гарантував стійкість та задані показники точності та якості системи керування (СК) в умовах некомпенсованої невизначеності [4].

Одним із можливих шляхів вирішення зазначених завдань є використання методів адаптивного, робастного і нечіткого управління одночасно [5].

Огляд існуючих технічних рішень. Важливим моментом при синтезі нечіткого регулятора є побудова математичної моделі для подання знань про динамічні об'єкти в умовах нечіткої інформації, яка повинна дозволити визначити показники невизначеності, давати опис випадкових процесів, інваріантно до їх закону розподілу.

Лінійні закони керування, зокрема ПД-закон, мають погані показники якості при управлінні нелі-

нійними і складними системами, а також при недостатній інформації про об'єкт управління. Характеристики регуляторів в цих випадках можна поліпшити за допомогою методів нечіткої логіки [6, 7]. Нечітке управління використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним; в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка; а також у випадках, коли за умовами задачі необхідно використовувати знання експерта. Прикладом може бути доменна піч, колона ректифікації, прямоточний котел, математична модель яких містить багато емпіричних коефіцієнтів, що змінюються в широкому діапазоні і викликають великі труднощі при ідентифікації. У той же час кваліфікований оператор досить добре управляє такими об'єктами, користуючись показаннями приладів і накопиченим досвідом. Знання, на які спирається оператор, реалізуються у формі правил "ЯКЩО-ТО", що мають нечіткий інформаційний зміст [8].

При застосуванні нечіткої логіки в системах управління технологічними процесами можна видокремити лише два принципових підходи до побудови структурних схем систем керування: для побудови самого регулятора і для організації підлаштування коефіцієнтів ПД-регулятора.

Метою статті є синтезування нечіткого логічного регулятора температури сушіння капілярно - пористих матеріалів, що дозволяє використовувати стандартну форму опису лінгвістичних змінних і мінімальний набір керуючих правил.

Постановка завдання керування

У загальному випадку математична модель динамічного об'єкта може бути подана у вигляді:

- нечітке рівняння стану

$$\bar{dx}/dt = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes u, \mu_s (s), \quad (1)$$

- нечіткі управління спостереження

$$\bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x}, \quad (2)$$

- нечіткі початкові умови

$$\bar{x}_1(0) = \bar{D}_1 \quad \bar{x}_2(0) = \bar{D}_2, \dots, \bar{x}_n(0) = \bar{D}_n, \quad (3)$$

де \otimes, \oplus - нечіткі операції відповідно додавання і множення; u - керуючий сигнал (скаляр), що приймає нечіткі значення; $\bar{x} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n\}$ - вектор нечіткого стану, $i = 1, 2, \dots, n$; $\zeta = 1, 2, \dots, 1$; $\mu_{\bar{s}}(s)$ - показник нечіткого числа змінних стану і представляє вагу s -го рівняння стану; $\bar{y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_{\zeta}, \dots, \bar{y}_l\}$ вектор нечітких вихідних змінних;

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}_1^1 & \dots & \bar{A}_1^n \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{A}_n^1 & \dots & \bar{A}_n^n \end{bmatrix}, \bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{B}^1 \\ \dots \\ \bar{B}^n \end{bmatrix}, \bar{C} = \begin{bmatrix} \bar{C}_1^1 & \dots & \bar{C}_1^n \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{C}_l^1 & \dots & \bar{C}_l^n \end{bmatrix}$$

матриці нечітких коефіцієнтів моделі.

Деяка i -та змінна вектору стану як функція часу t може бути представлена нечітким ставленням (АЛЕ) $\bar{x}_i(t) = \{t, x_i/\mu_{\bar{x}_i}(t, x_i)\}$, $i=1, 2, \dots, n$, у фіксований момент часу зазначена змінна може бути виражена нечіткою множиною (НМ): $\bar{x}_i = \{x_i/\mu_{\bar{x}_i}(x_i)\}$.

Аналогічний опис має ζ -а вихідна змінна:

$$\bar{y}_{\zeta}(t) = \{t, y_{\zeta}/\mu_{\bar{y}_{\zeta}}(t, y_{\zeta})\} \quad \zeta = 1, 2, \dots, 1,$$

$$\mu_{\bar{x}_i}(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) =$$

$$\left(\begin{aligned} & \left(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x) \right)^{v_{1\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(v_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + \\ & + \left(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x) \right)^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(v_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + 1 \end{aligned} \right)^{-1} \quad (4)$$

В формулі (4) коефіцієнт $a_{\bar{x}_i}$ представляє моду ФП, коефіцієнти $b_{1\bar{x}_i}$ та $b_{2\bar{x}_i}$ задають ширину ФП, $v_{1\bar{x}_i}$ і $v_{2\bar{x}_i}$ - нахил ФП до осі x_i , тобто контрастність. Коефіцієнти $b_{1\bar{x}_i}$, $b_{2\bar{x}_i}$, $v_{1\bar{x}_i}$, $v_{2\bar{x}_i}$ утворювати будь-яку форму ФП і можуть виступати як показники невизначеності.

Задано показники якості СК (час перехідного процесу, перерегулювання, помилка стеження тощо) у формі функцій корисності:

$$\bar{Q}_k^3 = \{Q_k^3/\mu_{\bar{Q}_k^3}(Q_k^3)\}, k = 1, 2, \dots, K,$$

$$\mu_{\bar{Q}_k^3}(Q_k^3) = \varphi(Q_k^3, a_{\bar{Q}_k^3}, b_{1\bar{Q}_k^3}, b_{2\bar{Q}_k^3}, v_{1\bar{Q}_k^3}, v_{2\bar{Q}_k^3}), \quad (5)$$

де K - число показників якості системи керування.

Визначено еталонну модель на основі заданих показників якості управління:

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m,$$

де u_m - вплив системи, що задає; $x_m(t)$ - вектор еталонного стану.

Задано обмеження на змінні вектора стану та обмеження на керування:

$$g_1(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{1max}, \quad g_2(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{2min}, \dots,$$

$$g_{2n-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{nmax},$$

$$g_{2n}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{nmin}, \dots \quad (6)$$

$$g_{m-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{max}, \quad g_m(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{min}.$$

$$\bar{y}_{\zeta} = \{y_{\zeta}/\mu_{\bar{y}_{\zeta}}(y_{\zeta})\},$$

де $\mu_{\bar{x}_i}, \mu_{\bar{y}_{\zeta}}$ - функції приналежності (ФП); x_i, y_{ζ} - значення із універсальних множин.

Елементи матриць $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ задані НМ:

$$\bar{A}_1^1 = \{A_1^1/\mu_{\bar{A}_1^1}(A_1^1)\}, \dots, \bar{A}_n^n = \{A_n^n/\mu_{\bar{A}_n^n}(A_n^n)\},$$

$$\bar{B}^1 = \{B^1/\mu_{\bar{B}^1}(B^1)\}, \dots, \bar{B}^n = \{B^n/\mu_{\bar{B}^n}(B^n)\},$$

$$\bar{C}_1^1 = \{C_1^1/\mu_{\bar{C}_1^1}(C_1^1)\}, \dots, \bar{C}_l^n = \{C_l^n/\mu_{\bar{C}_l^n}(C_l^n)\}.$$

Початкові умови описані НМ $\bar{D}_i = \{x_i/\mu_{\bar{D}_i}(x_i)\}$, а число змінних вектора стану - НМ $\bar{S} = \{s/\mu_{\bar{S}}(s)\}$, де $s=1, 2, \dots, n$ - порядковий номер змінної вектора стану. Функції приналежності задані аналітичною залежністю, наприклад, для змінної x_i .

Нехай як мету управління обрана мінімізація середнього відхилення змінних вектора стану реальної поведінки ОУ від зразка.

Необхідно синтезувати СК і здійснити налаштування регулятора таким чином, щоб всі сигнали в СК були обмежені, тобто $|x(t)| < x_{доп}$, $|u(t)| < u_{доп}$, а перехідні процеси в системі задовольняли заданим показникам якості

Алгоритм синтезу адаптивного нечіткого логічного регулятора (НЛР)

У даній роботі на нечіткий регулятор покладається завдання вироблення впливу, що управляє, в діапазоні зміни динамічної помилки регулювання і її похідної щодо її порогових значень.

Вхідний вектор НЛР перетворюється на нечітку форму $E^* = (e_1^*, e_2^*)$ за допомогою блоку фазифікації, потім виконується нечіткий логічний висновок у базі правил, у результаті виходить нечітка вихідна змінна u^* . Переведення значень вектора управління u^* з нечіткої області чітку u здійснюється блоком дефазифікації [7].

Передобробка вхідного сигналу помилки регулювання та її похідної здійснюється за формулою

$$e_i^N = \begin{cases} e_i, & |e_i| < e_i^{max}; \\ e_i^{max} \text{sign}(e_i), & |e_i| \geq e_i^{max}. \end{cases} \quad (7)$$

Постобробка вхідного керуючого сигналу u здійснюється вирішенням задачі денормалізації u

$$u = u_N DN = u_N |u_{max}|, \quad (8)$$

де $max u$ - максимальне значення управління, що подається об'єкту.

Як правило, база знань НЛР містить опис термів лінгвістичних змінних (ЛЗ), які мають бути визначені заздалегідь для кожної вхідної та вихідної змінної.

Для цього введемо такі лінгвістичні змінні:

$$e_1 = (\text{"Помилка керування"}, T_{e1}, E_1),$$

$$e_2 = (\text{"Похідна помилки"}, T_{e2}, E_1),$$

$$u = (\text{"Керування"}, T_u, U),$$

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 змінних e_1, e_2 відповідними функціями приналежності (ФП)

$$T_{e_i}^l = \mu_{e_i}^l(e_i), T_u^l = \mu_u^l(u), l = \overline{1, k} \quad (9)$$

заданими відповідно на універсальних множинах

$$E_i = [E_{i min}, E_{i max}] \text{ и } U = [U_{min}, U_{max}]. \quad (10)$$

Припустимо, що кожен вхідний та вихідний лінгвістичної змінної $T_x = \{T_e, T_{e/dt}, T_u\}$ відповідають

7 термів: $T_x = \{ 'NB', 'NM', 'NS', 'ZE', 'PS', 'PM', 'PB' \}$ з трикутними функціями приналежності:

$$\mu_{T_x}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq a, \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b, \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{якщо } c \leq x. \end{cases} \quad (11)$$

Тоді результатом фазифікації є лінгвістичні змінні:

$$\begin{aligned} e_1, &= \ll \text{Помилка} \gg = \\ &\left[\mu_{NB_e}(e)/NB_e, \mu_{NM_e}(e)/NM_e, \mu_{NS_e}(e)/NS_e, \mu_{ZE_e}(e)/ZE_e, \mu_{PS_e}(e)/PS_e, \mu_{PM_e}(e)/PM_e, \mu_{PB_e}(e)/PB_e \right]; \\ e_1, &= \ll \text{Швидкість змінення помилки} \gg = \\ &= \left[\mu_{NB_{e/dt}}(e/dt)/NB_{e/dt}, \mu_{NM_{e/dt}}(e/dt)/NM_{e/dt}, \mu_{NS_{e/dt}}(e/dt)/NS_{e/dt}, \mu_{ZE_{e/dt}}(e/dt)/ZE_{e/dt}, \mu_{PS_{e/dt}}(e/dt)/PS_{e/dt}, \mu_{PM_{e/dt}}(e/dt)/PM_{e/dt}, \mu_{PB_{e/dt}}(e/dt)/PB_{e/dt} \right]; \\ u^* &= \ll \text{Керування} \gg = \\ &= \left[\mu_{NB_u}(u)/NB_u, \mu_{NM_u}(u)/NM_u, \mu_{NS_u}(u)/NS_u, \mu_{ZE_u}(u)/ZE_u, \mu_{PS_u}(u)/PS_u, \mu_{PM_u}(u)/PM_u, \mu_{PB_u}(u)/PB_u \right]. \end{aligned}$$

Далі формується база правил логічного виводу у вигляді

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

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

$$\mu_{(T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j)}(e_1, e_2) = \mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2), \quad (12)$$

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

$$R^j = (T_{e_1}^j \times T_{e_2}^j) \times T_u^j, j = \overline{1,7} \quad (13)$$

з функцією приналежності

$$\mu_{R^j}((e_1, e_2), u^*) = \left(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2) \right) \wedge \mu_{T_u^j}(u^*). \quad (14)$$

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

$$\mu_R((e_1, e_2), u^*) = \bigvee_{j=1}^7 \left[\left(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2) \right) \wedge \mu_{T_u^j}(u^*) \right], \quad (15)$$

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

$$\mu_{T_u^j}(u^*) = \bigvee_{e_1 \in E_1, e_2 \in E_2} \left[\left(\mu_{T_{e_1}^j}(e_1) \wedge \mu_{T_{e_2}^j}(e_2) \right) \wedge \mu_R(e_1, e_2, u^*) \right]. \quad (16)$$

У випадку, коли лінгвістичним змінним вхідних сигналів e_1, e_2 відповідають нечіткі множини $T_{e_1}^j$ і $T_{e_2}^j$ нечітка множина лінгвістичної змінної сигналу керування u^* визначається наступним чином

$$\mu_{T_u^j}(u^*) = \max_{e_1, e_2} \left\{ \left[\min_{j=1}^m \left[\prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i) \right] \cdot \mu_{T_u^j}(u^*) \right] \right\}. \quad (17)$$

Для отримання реального значення вихідного сигналу нечіткого регулятора здійснюється процес дефазифікації

$$u = \sum_{n=1}^9 u_n^* \mu_{T_u}(u_n^*) / \sum_{n=1}^9 \mu_{T_u}(u_n^*). \quad (18)$$

Функцію приналежності нечіткого значення представляють у вигляді

$$\mu_{T_u^j}(u) = \begin{cases} \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i), & u = \lambda^j, \\ 0, & u \neq \lambda^j, \end{cases} \quad (19)$$

де λ^j - дискретні чисельні значення вихідного сигналу.

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

$$u = \sum_{j=1}^m \lambda^j \left[\prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i) \right] / \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i), \quad (20)$$

$$\text{або } u(\bar{e}, \bar{\lambda}) = \sum_{j=1}^m \lambda^j \zeta_j(\bar{e}), \quad (21)$$

$$\text{де } \zeta_j(\bar{e}) = \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i) / \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_{T_{e_i}^j}(e_i). \quad (22)$$

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 нечіткого 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. Поверхня відгуку нечіткого регулятора, що отримано, представлена на рис. 1.

Таблиця 1 - База правил нечітко-логічного регулятора

$\begin{matrix} e_2 \\ e_1 \end{matrix}$	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

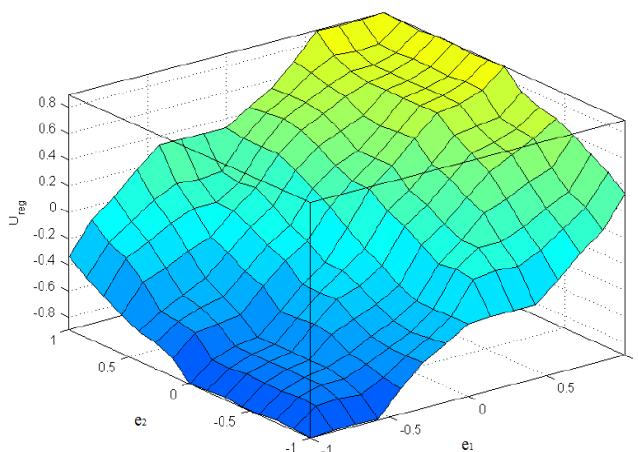


Рис. 1. Поверхня відгуку нечіткого регулятора

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

$$\Delta e(k) = \Delta e(k) / \Delta t$$

та один вихід $u(k)$ – управління в моменті часу $k\Delta t$, $k = 1, 2, \dots, N$, де Δt – шаг дискретизації.

Висновки

Проведено дослідження ефективності запропонованого підходу при роботі нечіткої адаптивної системи для управління температурою у камерній сушарці періодичної дії щодо сушіння капілярно-пористих матеріалів.

Отримані такі результати:

1) оперативне формування керуючих сигналів сприяє скороченню часу перехідного процесу на 18%,

2) середнє відхилення вектора змінних стану реального процесу від еталонного зменшено на 13% порівняно з показниками відомих адаптивних систем керування.

Синтезований нечіткий логічний регулятор надає системі автоматичного регулювання здатність підтримувати на заданому рівні температуру сушарки за наявності зовнішніх збурень, а також якісно керувати технологічним процесом сушіння капілярно-пористих матеріалів при широкому діапазоні зміни його параметрів у часі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chopra S., Mitra R., Kumar V. Analysis of Fuzzy PI and PD Type Controllers Using Subtractive Clustering. International journal of computational cognition, 2006. 4(2): p. 30-34.
2. Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology //IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 5599-576.
3. Bounemour A., Chemachema M., Essounbouli N. New approach of robust Direct Adaptive Control of a class of SISO Nonlinear Systems, in 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2014., 2014: Hammamet, Tunisia. p.725-730.
4. Filasov'a A., Hladk'y V., Krokavec D. Nonlinear System H_∞ Fuzzy Control within Takagi-Sugeno Framework, in International Conference on Process Control (PC) June 18–21, 2013, Štrbské Pleso, Slovakia. 2013. p. 13-18.
5. Harpreet Singh, Madan M. Gupta, Thomas Meitzler, et al., —Real-Life Applications of Fuzzy Logic, Advances in Fuzzy Systems, vol. 2013, Article ID 581879, 3 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/581879>
6. Aceves-Lopes A. A simplified version of Mamdani's fuzzy controller: the natural logi controller. IEEE Transactions on fuzzy systems, 2006. 14(1): p. 16-30. DOI: [10.1109/TFUZZ.2005.861603](https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.861603)
7. Ion Iancu (2012). A Mamdani Type Fuzzy Logic Controller, Fuzzy Logic - Controls, Concepts, Theories and Applications, Prof. Elmer Dadios (Ed.), ISBN: 978-953-51-0396-7.
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. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2.1 The MathWorks, Inc., 2001.

Received (Надійшла) 22.08.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.10.2022

Synthesis of an adaptive fuzzy logic regulator for temperature control in a chamber dryer

N. Yevsina, A. Zuev, A. Gapon, M. Denysenko, M. Tarasenko

Abstract. The method of statistics is the synthesis of a fuzzy logical temperature controller for drying capillary-porous materials, which allows you to win a standard form for describing linguistic changes and the minimum set of key rules. It is indicated that the simplicity of the PID controller, as expressed through the three parameters of the adjustment and the understanding of the physical protection of the skin, at the same time, it increases the number of tasks, which can be effectively changed. For folding thermal objects, it is necessary to complete the structure of the regulator more thoroughly. It is recommended to win over vague management with insufficient knowledge of how the object of management is, but even the obviousness of managing it. The fuzzy controller is based on the vibration control, which controls, in the range of changing the dynamic pardon of the regulation and \bar{u} similarly to \bar{u} threshold values. **Synthesizing** a fuzzy logical controller allows the system of automatic regulation of the building to adjust the temperature of the dryer at a given level for the presence of major disturbances, as well as accurately handle the technological process of drying capillary-porous materials with a wide range of changes.

Keywords: capillary-porous materials, fuzzy control, adaptive fuzzy logic controller, mathematical model, membership function, defuzzification.