

Что касается объемов расхода ВВ на взрывание, наиболее объективный показатель - это удельный расход кг/м^3 , равный в среднем по указанным годам $1,28 \text{ кг/м}^3$ по руде, $1,09$ по скале.

Для эффективного дробления массива горных пород необходимо в производственных условиях выдерживать плановый установленный удельный расход взрывчатых веществ.

Выводы. В настоящее время объемы взрывания горной массы на карьере №3 ПАО «ЦГОК» постоянно увеличиваются. С каждым годом происходит понижение рудных и скальных фронтов, что приводит к увеличению крепости горных пород и доли взрывания обводненных скважин, а это, в свою очередь, ведет к увеличению удельного расхода взрывчатых веществ. Для выполнения качественного дробления горной массы и рационального использования энергии взрыва при разрушении массива горных пород комбинат осуществляет постоянный контроль параметров БВР, применяет новые энергосберегающие конструкции скважинных зарядов, производит увеличение сетки скважин, уменьшает величину перебура в скважине и увеличивает высоту забойки.

Список литературы

1. Кучерявый Ф.И., Куриленко А.В. Влияния направления детонаций удлиненного заряда на характер разрушения горной породы. – Изв. вузов. Горный журнал, 1970, №6. -С.69-71.
2. Петряшин Л.Ф., Мячина Н.И. О зависимости поля напряжений и процесса разрушения от конструкции заряда и направления детонации. Взрывное дело, №62/19, М.: Недра, 1967. - С. 150-156.
3. Шекун С.Г., Бызов В.Ф., Волынец М.А. Перераспределение энергии взрыва по длине скважинного заряда. Взрывное дело, №62/19, М.: Недра, 1967. - С. 193-198.
4. Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. М.: АН СССР, 1946. - 186 с.
5. Баум Ф.А. и др. Физика взрыва. - М.:Изд. Наука, 1975.- 704 с.
6. Митрофанов В.В. Теория детонации.- Новосибирск, 1982. -92 с.
7. Мельников В.В., Марченко Я.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда.- М.: Недра 1964.-138 с.
8. Салганик В.А., Воротеляк Г.А., Митрофанов В.В., Филипов Н.Ф. Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью.- К.: Техника, 1986.- 88 с.
9. Бакиров И.Т. и др. Действие удлиненных зарядов с продольными каналами// Химическая физика процессов горения взрывов. Детонация.- Черноголовка, 1977. – С. 69-72.
10. V.V. Mitrafanov., I.T. Bakirov, G.A. Voroteljak, V.A. Salganik. – Action of Charges with Axial Cavities on Rocks. Volume 75, Gasdynamics of Detonations and Explosions. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics. New- York, 1981. -p. 314-324.

Рукопись подано до редакції 17.04.14

УДК 621.771.22:62-52

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., В.Ю. ХАРЛАМЕНКО, асистент
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБУКСОВОК РОБОЧИХ ВАЛКІВ ОБТИСКНОЇ КЛІТІ БЛЮМІНГА НА БАЗІ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ТАКАГІ-СУГЕНО

У статті вирішено науково-практичне завдання підвищення ефективності керування процесом обтиснення металу на блюмінгу шляхом зменшення динамічного навантаження на обтискні валки та зменшення часу обтиснення металу за рахунок визначення пробуксовок робочих валків на базі нечіткого логічного висновку. Проведено аналіз характеру динамічного навантаження на електромеханічне обладнання обтискної кліти блюмінга, в умовах односторонньої та двосторонньої пробуксовок, за результатами якого розроблено граф станів технологічних ситуацій. Для розробки методу визначення пробуксовок робочих валків обтискної кліти блюмінга використано систему нечіткого логічного висновку Такагі-Сугено. На основі формалізації дій персоналу в режимі пробуксовок розроблено нечітку базу правил, для якої висновки сформовані шляхом використання методу парних порівнянь і налаштовані адаптивною нейро-нечіткою мережею. Наведено результати моделювання запропонованого методу в умовах односторонньої пробуксовки.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Процес гарячої прокатки на блюмінгу є дуже ресурсомістким. Основними ресурсами, що споживаються при обтисненні зливків металу на блюмінгу, є електроенергія та елементи робочих механізмів, що періодично

виходять з ладу. До них відносять шпинделі, передаточні механізми, валки і тощо [1]. Заміна та ремонт даних елементів приводить до простоїв стану та залучення значних матеріальних ресурсів, що, в свою чергу, приводить до зниження продуктивності роботи стану.

Основною причиною, що призводить до збільшення витрат електроенергії та виникнення поломок елементів обтискної кліті, є динамічні навантаження в лінії стану, які виникають внаслідок пробуксовок робочих валків.

При цьому, нерівномірність розподілу динамічного навантаження між робочими валками призводить до зниження продуктивності обтискного стану.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблеми автоматизації процесу реверсивної гарячої прокатки на блюмінгу були досліджені С.Г. Буряковським, А.Є. Гуревичем, С.Я. Дунаєвським, С.Л. Коцарем, О.В. Світличним, О.В. Слежановським та багатьма іншими ученими. Проблеми зниження динамічних навантажень у кінематичній лінії стану прокатної кліті розглядалися в роботах В.А. Воскресенського, А.Г. Жигалкіна, Ф.К. Іванченка, В.Б. Клепікова, С.Н. Кожевнікова, О.С. Лехова, П.І. Полухіна, Б.Н. Полякова, М.А. Тилкіна, А.П. Чекмарьова, В.А. Чичигіна, Г.І. Яха.

Використання методів сучасної теорії автоматичного керування для автоматизації процесу реверсивної гарячої прокатки досліджено в працях Л.В. Акімова, Б.І. Кузнєцова, Т.Б. Нікітіної.

Постановка завдання. Використання удосконалених методів визначення пробуксовок робочих валків обтискної кліті дозволить знизити вплив людського фактору, підвищити ефективність використання устаткування обтискної кліті та зменшити енерговитрати за рахунок зменшення динамічних навантажень, а також підвищити продуктивність в часі за рахунок зменшення простоїв.

Для розробки метода визначення пробуксовок робочих валків на базі системи нечіткого логічного висновку необхідно дослідити особливості динамічного навантаження в різних режимах функціонування обтискної кліті, на основі формалізації дій персоналу у досліджених режимах сформувані нечітку базу правил, розробити модель для дослідження ефективності застосування запропонованого метода визначення пробуксовок робочих валків на базі системи нечіткого логічного висновку типу Такагі-Сугено.

Викладення матеріалу та результати. При формуванні узгодженого керування швидкістю робочих валків основними параметрами швидкісного режиму є швидкості захвату і викиду, максимальна швидкість, прискорення та уповільнення. Від цих параметрів залежить цикл прокатки і продуктивність стану в цілому.

Згідно із методикою, що описана в [2], величина прискорення вибирається виходячи із необхідності отримати заданий час перехідного процесу при заданій величині динамічної складової струму.

Більшість досліджень [3] показують, що час розгону від 0 до $\omega_o(t)$ - основної швидкості, вибирається в межах 0,7-2 с, а динамічний струм - $(0,8 \div 1) I_n$.

При вказаних умовах прискорення, (об/хв.)/с

$$a = \frac{d\omega(t)}{dt} = 70 \div 100 \quad (1)$$

Величина гальмування вибирається дещо меншою, (об/хв.)/с

$$b = 80 \div 130 \quad (2)$$

Час паузи між пропусками визначається часом роботи натискного пристрою і, при формуванні завдання на швидкість, вибирається як усереднена величина в діапазоні $t_n = 1,5 \div 2$ с.

Дослідження режимів роботи обтискних станів показує, що, з метою скорочення навантаження на двигун, необхідно використовувати високі швидкості захвату та низькі швидкості викиду зливка із валків.

Оптимальна максимальна швидкість в пропуску, при цьому, повинна бути в межах номінальних значень швидкості приводного двигуна.

На основі проведеного аналізу процесів, що відбуваються в кінематичних ліній обтискного стану в режимі пробуксовки побудовано граф станів динамічного навантаження на електромеханічне обладнання пружних розподілених багатомасових кінематичних ліній обтискної кліті (рис. 1).

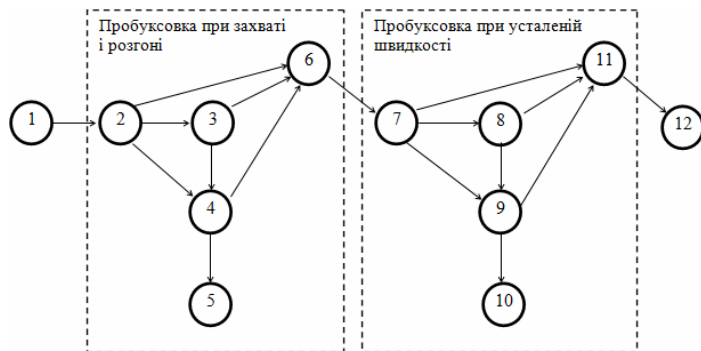


Рис. 1. Граф станів навантаження

На рис. 1 стани характеризуються так: 1 - розгін двигуна на холостому ході; 2 - захват зливку; 3 - одностороння пробуксовка при захваті і розгоні; 4 - двостороння пробуксовка при захваті і розгоні, 5 - аварія після захвату; 6 - хибна або незначна пробуксовка, 7 - усталений режим, 8 - одностороння пробуксовка в усталеному режимі, 9 - двостороння пробуксовка в усталеному режимі, 10 - аварія в усталеному режимі, 11 - хибна або незначна пробуксовка в усталеному режимі, 12 - вихід зливку з валків.

Блок нечіткого логічного висновку для підсистеми формування узгодженого керування розроблено на основі формалізації дій персоналу в нестійких режимах. З цієї метою доцільно використати систему нечіткого логічного висновку типу Такагі-Сугено (ТС) [4]. Перевага даного алгоритму нечіткого висновку у порівнянні з іншими алгоритмами (Мамдані, Сінглтона та ін.) полягає у формуванні вихідного сигналу у вигляді лінійної функції комбінації входів, що дозволяє більш гнучко керувати вихідною координатою.

Модель визначення узгодженого керування представлено у вигляді множини правил типу «якщо - то», де кожне правило має вигляд [4,5]

R_i : Якщо $X_1 \in A_1^i, X_2 \in A_2^i, \dots, X_m \in A_m^i$, то

$$d_i = b_{i0} + \sum_{j=1, n} b_{ij} \cdot x_j \in A_1^i, \quad (3)$$

де b_{ij} - деякі дійсні числа.

Отже, правила в даній базі є перемикачами з одного лінійного закону на інший. Оскільки, межі під областей нечіткі, то одночасно може виконуватись кілька комбінацій з різними ступіннями.

Ступінь приналежності вхідного вектора $\tilde{X} = \left(u_{зв(n)}, M_{ij\theta(n)}, \Delta M_{св(n)}, \frac{dM_{ij\theta(n)}}{dt} \right)$ до значень (3) розраховуються наступним чином [4]

$$\mu_{d_i} = \mu_i(u_{зв(n)}) \chi_i \mu_i(M_{ij\theta(n)}) \chi_i \mu_i(\Delta M_{св(n)}) \chi_i \mu_i\left(\frac{dM_{ij\theta(n)}}{dt}\right). \quad (4)$$

У результаті по всій базі знань отримаємо нечітку множину \tilde{Y} , що відповідає вхідному вектору \tilde{X} [4]

$$\tilde{y} = \left(\frac{\mu_{d_1}(\tilde{X})}{d_1}, \frac{\mu_{d_2}(\tilde{X})}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{d_m}(\tilde{X})}{d_m} \right). \quad (5)$$

Результуюче значення виходу у знаходиться як суперпозиція лінійних законів, що виконуються в даній точці \tilde{X} n -мірного факторного простору. Для цього використовується дефазифікація [4]

$$y = \frac{\sum_{i=1, m} (\mu_{d_i}(\tilde{X}) \cdot d_i)}{\sum_{i=1, m} \mu_{d_i}(\tilde{X})}. \quad (6)$$

В якості функції приналежності, що відносяться до лінгвістичних змінних нечітких параметрів використано функцію Гауса виду [4]

$$\mu(X) = \exp\left(-\frac{(u-b)^2}{2c^2}\right), \quad (7)$$

де b - координата максимуму, а c - концентрації.

Для вхідних змінних $U_{36(n)}$, $\Delta M_{ce(n)}$, $\frac{dM_{ij6(n)}}{dt}$ терм-множина має вигляд [4]

$$T_X = \langle NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB \rangle, \quad (8)$$

де NB - від'ємне велике; NM - від'ємне середнє; NS - від'ємне низьке, ZE - близько нуля; PS - додатне низьке, PM - додатне середнє; PB - додатне велике.

Для вхідної змінної M_{ij} терм-множина має вигляд

$$T_X = \langle NS, ZE, PS, PM, PB \rangle. \quad (9)$$

При формуванні узгодженого керування для робочих валків обтискної кліти для вихідної змінної доцільно вибрати наступну множину термів

$$T_U = \langle Z, ZE, PS, PM, PB \rangle, \quad (10)$$

Яким відповідають функції приналежності $mf_1, mf_2, mf_3, mf_4, mf_5$.

Для визначення залежностей для множини термів вихідної змінної за алгоритмом Такагі-Сугено використано метод парних порівнянь Т. Сааті [4,6].

Алгоритм полягає в наступному [6]:

Визначаються абсолютні оцінки рангів для кожної вхідної змінної термів вихідної величини. Формується матриця парних порівнянь A для кожного терму вихідної терм-множини. Обчислюється вектор пріоритетів для кожної змінної кожного елемента вихідної терм-множини.

В табл. 1 наведено результати визначення коефіцієнтів вихідних залежностей для терм-множини T_U за методом парних порівнянь Сааті. Узагальнену базу знань наведено у табл. 2, де кожній комбінації з вхідних термів відповідає стан, описаний для графа на рис. 1.

Таблиця 1

Результати визначення коефіцієнтів залежностей для терм-множини T_U за методом парних порівнянь Сааті

Нечіткий терм	Відповідна залежність
Z	$d_Z = 0,1 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4$
ZE	$d_{ZE} = 0,7505 \cdot x_1 + 0,0832 \cdot x_2 + 0,0832 \cdot x_3 + 0,0832 \cdot x_4$
PS	$d_{PS} = 0,6684 \cdot x_1 + 0,1879 \cdot x_2 + 0,0484 \cdot x_3 + 0,0953 \cdot x_4$
PM	$d_{PM} = 0,3946 \cdot x_1 + 0,1338 \cdot x_2 + 0,077 \cdot x_3 + 0,3946 \cdot x_4$
PB	$d_{PB} = 0,2236 \cdot x_1 + 0,223 \cdot x_2 + 0,1133 \cdot x_3 + 0,44 \cdot x_4$

Таблиця 2

Узагальнена база знань Такагі-Сугено

$U_{36(n)}$	$\Delta M_{ce(n)}$	$\frac{dM_{ij6(n)}}{dt}$	M_{ij}	Стан
NS PS ZE	ZE	ZE	ZE	1
NS PS ZE	NS PS ZE	NS PS ZE	NS PS ZE	2
NS PS ZE	NM PM	PM	NM PM	3
NS PS ZE	NS PS ZE	PB	NS ZE	4
NS PS ZE	ZE	ZE	NB PB	5
NM PM	NS PS ZE	NS PS ZE	PS PM ZE	6
NM PM NB PB	ZE	ZE	NM PM	7
NM PM NB PB	NM PM NB PB	PM PB	PM PB	8
NM PM NB PB	NS PS ZE	PB	NS ZE PS	9
NM PM NB PB	ZE	ZE	NB PS PB	10
NM PM NB PB	NS PS	NS PS	PS PM	11
NS PS ZE	ZE	ZE	ZE	12

Параметрична ідентифікація нечіткої бази знань ТС зводиться до наступного завдання математичного програмування [6] - знайти такий вектор (P, B) щоб

$$\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} (y_r - F(P, B, X_r))^2} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де P - вектор параметрів функцій приналежності термів вхідних змінних; B - вектор коефіцієн-

тів лінійних функцій у висновках правил бази знань ТСК; $F(P, B, X_r)$ - результат виводу по нечіткій базі знань ТСК з параметрами (P, B) для вхідного вектора \tilde{X}_r з вибірки

$$(\tilde{X}_r, y_r), r = \overline{1, M}, \quad (12)$$

де (\tilde{X}_r, y_r) - r -та пара відповідно вхідного та вихідного сигналів у навчальній вибірці.

Задачу (3) вирішимо із використанням швидкого алгоритму на основі ANFIS-алгоритму, що представляє собою комбінацію методу найшвидшого спуску і збереженого розповсюдження помилки [6].

ANFIS-модель на основі однойменного алгоритму являє собою штучну нейронну мережу, що складається з п'яти шарів [7]. Кожний шар мережі виконує таку функцію.

Шар 1. Кожен вузол i цього шару моделює функцію приналежності

$$y_i^1 = \mu_{A_i}(x), \quad (13)$$

де A_i - лінгвістична характеристика нечіткого значення вхідної змінної x .

Шар 2. Кожний нейрон цього шару розраховує ступінь істинності для передумови кожного правила (силу правила) бази знань системи. Вихід нейрона дорівнює добутку його входів (значень функцій приналежності)

$$\omega_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2), i = 1, 2. \quad (14)$$

Шар 3. Нейрони цього шару розраховують нормовану силу правила

$$\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, i = 1, 2. \quad (15)$$

Шар 4. Нейрони цього шару є адаптивними і формують значення вихідної змінної за формулою

$$y_i^4 = \bar{\omega}_i \cdot f_i = \bar{\omega}_i \cdot (p_i \cdot x_1 + q_i \cdot x_2 + r_i), \quad (16)$$

де $\bar{\omega}_i$ - вихід шару 3 нейронів; $\{p_i, q_i, r_i\}$ - набір параметрів, значення яких налаштовуються в процесі функціонування системи.

Шар 5. Цей шар містить тільки один нейрон, що виконує дефазифікацію шляхом знаходження суми сигналів, які надходять на його входи

$$y^5 = \sum_i y_i^4 = \sum_i \bar{\omega}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i \omega_i \cdot f_i}{\sum_i \omega_i}. \quad (17)$$

Дослідження ефективності застосування нечіткого логічного висновку на основі алгоритму ТС при формуванні сигналу завдання для системи керування обтискною прокатною кліткою проводилось на моделі, структурна схема якої зображена на рис. 2.

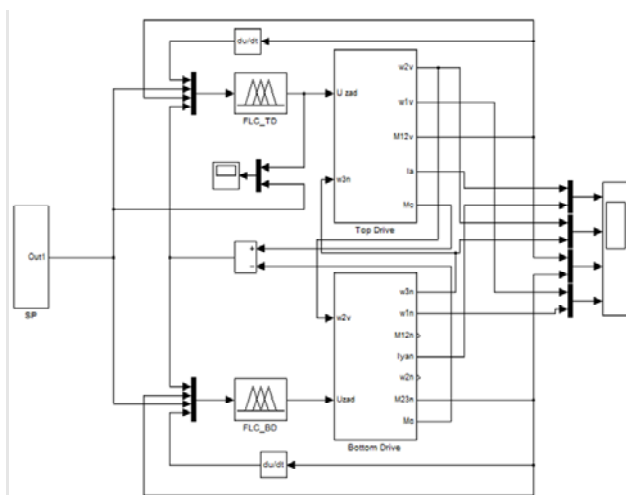


Рис. 2. Структурна схема для моделювання блоку узгодженого керування робочими валками обтискної клітки

На схемі зображено блоки FLC_TD (Fuzzy Logic Controller top drive) та FLC_BD (Fuzzy Logic Controller bottom drive) в яких реалізовано нечіткий логічний висновок на базі алгоритму Такагі-Сугено для верхньої і нижньої кінематичної лінії відповідно.

Моделі кінематичних ліній сформовані в другому розділі реалізовані в блоках Top Drive та Bottom Drive.

Для формування сигналу завдання використано блок SP (SP - set point).

Основною метою блоку узгодженого керування (CCB - coordination control block) є формування узгодженого керування швидкостями ро-

бочих валків обтискної кліті $U_{зв(н)}^y$ на основі сигналу завдання $U_{зв(н)}$ із датчика інтенсивності (SP) з можливістю корекції його відносно до поточної технологічної ситуації.

Для цього в блоці узгодженого керування використовуються такі входні координати як пружний момент у шпindelних з'єднаннях $M_{12в}, M_{23н}$, що відновлюється адаптивним спостерігачем стану (Adapt observer), моменти навантаження на валки $M_{нв(н)}$, що ідентифікуються у відповідній підсистемі (ISM - identification of static moment) та похідна різниці струмів якірних обмоток $d\Delta I_{6(н)}/dt$, що дозволяє відслідкувати швидкість зміни різниці струмів приводних двигунів робочих валків.

При цьому сам блок представлено нечітким логічним контролером (TS), в якому реалізовано підсистему нечіткого логічного висновку ТС.

На рис. 3 продемонстровано порівняння результатів застосування запропонованого метода та існуючого.

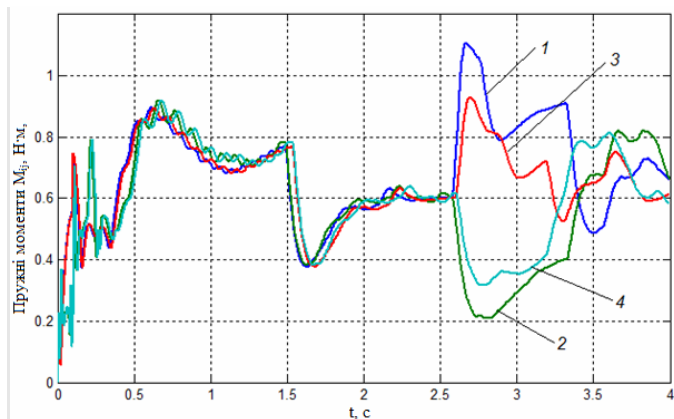


Рис. 3. Порівняння результатів застосування запропонованого та існуючого методу виявлення пробуксовок: 1,2 – пружні моменти у верхній та нижній кінематичних лініях при існуючому методі відповідно; 3,4 – пружні моменти у верхній та нижній кінематичних лініях при запропонованому методі відповідно

Проаналізувавши графіки на рис. 2,3, можна зробити висновок, що реакція на виникнення пробуксовки при використанні блоку узгодженого керування на базі підсистеми нечіткого логічного висновку ТС на 0,18 с швидша, ніж

при існуючому способі формування завдання на швидкість робочих валків обтискної кліті.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У статті вирішено науково-практичне завдання підвищення продуктивності функціонування обтискного стану блюмінга шляхом розробки метода визначення пробуксовок робочих валків на базі системи нечіткого логічного висновку Такагі-Сугено, що забезпечує зниження витрати електроенергії та зменшення ремонтних простоїв внаслідок збільшення періоду служби елементів механізмів прокатної кліті.

Застосування запропонованого методу дозволить скоротити час одного пропуску на 0,18 с, що дозволить забезпечити збільшення продуктивності обтискного стану блюмінга на 1,5 %.

Список літератури

1. Лехов О.С. Динамические нагрузки и линии привода обжимных станов. – М.: Машиностроение, 1975. – 184с.
2. Бычков В.П. Электропровод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для / В.П. Бычков. – [2-е изд., перераб и доп.] – М.: Высшая школа, 1977. – 391с.
3. Коцарь С.Л., Поляков Б.Н., Макаров Ю.Д., Чичигин В.А. Статистический анализ и математическое моделирование блюминга. – М.: Металлургия, 1974. – 280с.
4. Штовба С. Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB// Exponenta Pro. – 2003. - № 2 (2). – С. 9 – 15.
5. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно, Пер. с япон. Ю.Н. Чернышова. – М.: Мир, 1993. – 368с.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288с.
7. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference systems / J.-S. R. Jang // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23, №3. – P. 665–685.

Рукопис подано до редакції 17.04.14