

**ОПТИМАЛЬНА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОГО КОЛА
ДУГОВОЇ ПЕЧІ З ЇЇ АДАПТАЦІЄЮ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ ВИСЛОВЛЮВАНЬ**

Запропоновано стохастичну методику оптимальної ідентифікації параметрів силового кола дугової сталеплавильної печі з адаптацією на основі нечітких висловлювань. Описано математичну модель оперативної ідентифікації параметрів силового кола дугової печі та дугових проміжків та подано алгоритм адаптації моделі ідентифікації до зміни стохастичних характеристик збурень.

Предложено стохастическую методику оптимальной идентификации параметров силовой цепи дуговой сталеплавильной печи с адаптацией на основе нечетких высказываний. Описано математическую модель оперативной идентификации параметров силовой цепи дуговой печи и дуговых промежутков и предложено алгоритм адаптации модели идентификации к изменению стохастических характеристик возмущений.

A stochastic method of identifying the optimal parameters of power circle arc steel furnace with adaptation based on fuzzy statements. The mathematical model of identifying operational parameters of power circle steel arc furnaces and arc gaps was described and the model identification algorithm for adapting to changing characteristics of the stochastic perturbation was provided.

Проблема підвищення електротехнологічної ефективності плавлення сталей в дугових сталеплавильних печах (ДСП) є важливою та актуальною для електрометалургійної галузі України. Одним з напрямків успішного її вирішення є оперативний синтез та реалізація стратегій багатокритеріального оптимального керування за комплексними критеріями електротехнологічної ефективності [3]. Реалізуються ці стратегії в ієрархічній багатоконтурній структурі системи керування режимами плавлення на основі принципів теорії нечітких множин [4].

Особливістю реалізації зазначених стратегій керування режимами електросталеплавлення є неперервна упродовж плавки флуктуація параметрів елементів силового кола ДСП та параметрів електричних дуг, зокрема градієнта напруги на дугах. Зазначений фактор знижує ефективність оптимального керування і висуває як першочергову для вирішення задачу адаптації вектора керування системи і параметрів регуляторів координат до поточних значень параметрів об'єкта керування (ОК). З наведеного вище випливає, що для реалізації оптимальних стратегій керування необхідно вирішувати задачу адаптивної ідентифікації параметрів ОК. Ця задача є важливою, бо без наявності точної інформації про значення параметрів ОК неможливим є як апіорний (зважаючи на нестационарний характер процесу зміни параметрів), так і оперативний синтез вектора оптимального керування режимами плавлення в ДСП.

Неперервний безпосередній експлуатаційний контроль (безпосереднє вимірювання) більшості параметрів СК з необхідною точністю з технічних причин є неможливим. Тому оперативна ідентифікація повинна виконуватися опосередковано на основі вимірювання відповідних координат системи регулювання потужності дуг з подальшим розрахунком на основі цієї інформації поточних значень параметрів елементів ОК за певними адаптивними математичними моделями [1], що формуються у відповідності з методами теорії оптимального керування.

Динаміка зміни координат ОК та регулятора потужності дуг описується диференціальними рівняннями

$$\dot{x} + \varphi(x, a, u, f) = 0, \quad (1)$$

де x, u – вектори стану і керування системи; a – вектор невідомих параметрів системи; f – вектор збурень, що діють в об'єкті керування.

Для ідентифікації параметрів формується модель

$$\dot{x}_m + \varphi_m(x_m, a_m, u, f_m) = 0, \quad (2)$$

де x_m – вектор стану (вихідні координати) моделі; $a_m(t)$ – вектор параметрів моделі; f_m – збурюючі впливи, що формуються в моделі.

Ставиться задача розроблення адаптивної моделі, яка на основі оперативної вхідної x, x_m і вихідної u, f_m інформації забезпечить відслідковування модельного і фактичного (в ОК) стохастичних процесів зміни параметрів $a(t)$ і $a_m(t)$ з мінімальною за вибраним критерієм похибкою, зокрема за критерієм мінімуму за часом різниці векторів $x_m - x$ на ковзаючому інтервалі усереднених від t до $t+T$. Ширина вікна усереднення T , зважаючи на нестационарність процесу флуктуації параметрів ОК, є варіативним параметром у моделі ідентифікації. Окрім інтегральної оцінки норми різниці процесів $x_m(t) - x(t)$, критерій повинен враховувати інтегральну оцінку норми швидкості зміни параметрів об'єкта керування, що ідентифікуються.

Для формування моделі ідентифікації параметрів використано нестационарний функціонал узагальненої роботи, що є квадратичним відносно вектора керування, з постійною затухання T_Q :

$$I = [V \exp(-t/T_Q)]_{t+T} + \int_t^{t+T} Q(x_m - x) \exp(-t/T_Q) dt_T + \sqrt{\int_t^{t+T} k_{aj}^2 (u_{aj}^2 - u_{ajon}^2) \exp(-t/T_Q) dt_T}, \quad (3)$$

де $Q(x_m - x)$ – додатньо визначена функція; k_{aj} – коефіцієнти функціонала; u_{aj} – компоненти вектора u ; V, u_{ajon}^2 – функції, що формуються за відповідним співвідношенням [1].

У відповідності з теоремою аналітичного конструювання за узагальненим критерієм і виразами (1)–(3), оптимальні керування записуються

$$u_{aj} = u_{ajon} = -k_{aj}^2 \frac{dV}{da_{mj}}, \quad \text{або} \quad u_a = -k_a^2 \frac{dV}{da_m}, \quad (4)$$

де k_a^2 – діагональна матриця коефіцієнтів моделі; V – вимушений розв'язок лінійного рівняння в частинних похідних:

$$\frac{dV}{dt} - \frac{1}{T_a} V - \sum_{i=1}^n f_{Mi} \frac{dV}{dx_{Mi}} = -Q(x_M - x). \quad (5)$$

Якщо лінійний оператор позначити $L_i = \frac{\partial}{\partial t} - f_{Mi} \frac{\partial}{\partial x_{Mi}}$, то останнє рівняння $(L_i - 1/T_a)V = -Q$. У відповідності з [3] операційне рішення

$$V = T_Q (1 + T_Q L_i + T_Q^2 L_i^2 + \dots) Q. \quad (6)$$

З врахуванням наведеного вище, оптимальний алгоритм адаптації моделі для задачі ідентифікації параметрів елементів силового кола ДСП

$$\dot{a}_m = -T_a k_{a_m}^2 \frac{d}{d_{am}} [(1 + T_Q L_i + T_Q^2 L_i^2 + \dots) Q(x_M - x)]. \quad (7)$$

Якщо для такого квазіградієнтного алгоритму налаштування допустити, що $T_Q \rightarrow 0$, а добутки $T_Q k_{a_j}^2$ є скінченими, то це відповідає строгій локальній оптимізації. У такій моделі для кожного моменту часу мінімується миттєве розузгодження між вихідним вектором моделі та вектором реального процесу зміни параметрів (3). Для цього випадку $\dot{a}_m = -T_Q k_a^2 \partial Q / \partial a_m$.

Для отримання належної динамічної точності ідентифікації процесів зміни параметрів $x_j(t)$ елементів ОК необхідно виконувати оперативну адаптацію параметра T моделі ідентифікації до зміни параметрів стохастичних характеристик збурень у СК і дуговому просторі, що спричинюють відповідні процеси зміни параметрів. Реалізовано це на математичних засадах теорії нечітких множин [2]. "Зашумлений" сигнал j -го ідентифікованого параметра $a_j(t)$ подамо таким виразом:

$$a_j(t) = a_{jp}(t) + \xi_j(t) = B_j^T \Psi_j(t) + \xi_j(t) = \Psi_j^T(t) B_j + \xi_j(t), \quad (8)$$

де $B_j^T = (b_{j1}, b_{j2}, b_{j3}, \dots, b_{jn-1})_{(1 \times n)}$ – вектор невідомих параметрів математичної моделі фільтрації; $\xi_j(t)$ – випадкова складова процесу $a_j(t)$; $\Psi_j^T(t) = (\psi_{j0}(t), \psi_{j1}(t), \dots, \psi_{jn-1}(t))_{(n \times 1)}$ – вектор заданих базисних функцій; $a_{jp}(t)$ – реальний процес зміни параметра $a_j(t)$.

На виході описаної моделі ідентифікації процес зміни ідентифікованого сигналу j -го параметра $a_j(t)$ отримується у вигляді решітчастої функції $y(t=i\tau)$, $i = 1, N$.

Алгоритм усереднення полягає у знаходженні функції $y(t)$, яка дає найкраще середньоквадратичне наближення (за методом найменших квадратів – МНК) до отримуваної решітчастої функції:

$$\min_A (v^T v) = \min (Y - XB)^T \cdot (Y - XB).$$

Адаптація величини N (кількість дискрет, що формують T), виконується системою нечіткого виводу, на вхід якої подається дисперсія похибки та сама похибка ідентифікації.

Таким чином, при фіксованій величині кроку τ за часом описана вище модель на основі засад нечіткої логіки адаптує величину «вікна» $N_i \tau$ фільтрації, забезпечуючи найменшу похибку R апроксимації ідентифікованих процесів параметрів елементів ОК.

Список використаної літератури

1. Красовский А.А. Динамика непрерывных самонастраивающихся систем / А.А. Красовский – М.: Физматгиз, 1963.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д.Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им.М. Э.Баумана, 2002. – 744с.
3. Паранчук Я.С. Векторна оптимізація режимів комплексу ДСП-ЕПМ на основі головного критерію / Я.С. Паранчук // Оптимизация производственных процессов. – 2004. – № 7. – С.78-89.
4. Паранчук Р.Я. Система багатокритеріальної адаптивної оптимізації електротехнологічної ефективності плавлення сталей в ДСП на основі принципів нечіткого керування / Я.С. Паранчук // Экология и промышленность. – №3 (24). – 2010. – С.79-84.

Отримано 11.07.2011



Лозинський
Орест Юліанович,
д-р техн. наук, директор
Ін-ту енергетики та систем
керування НУ
"Львівська політехніка",
вул. С. Бандери, 12, Львів,
79013, 032-2582468, E-mail:
olozynsky@lp.edu.ua



Мороз
Володимир Іванович,
д-р техн. наук, професор
каф. ел.приводу НУ
"Львівська політехніка".
вул. С. Бандери, 12, Львів,
79013, Україна,
032-2582620,
E-mail: vmoroz@lp.edu.ua



Паранчук
Ярослав Степанович,
д-р техн. наук, професор
каф. електроприводу НУ
"Львівська політехніка".
вул. С. Бандери, 12, Львів,
79013, Україна,
032-2582468,
E-mail:
yraganchuk@yahoo.com



Паранчук
Роман Ярославович,
канд.техн.наук,
ПП «Малкос УА».
вул. Сихівська 17, кв. 17,
Львів-66, 79066, тел. 032-
221-85-20, E-mail:
rparanchuk@gmx.net



Головач Ігор Романович –
канд.техн.наук, доц. каф.
ел.приводу НУ "Львівська
політехніка",
вул. С. Бандери, 12, Львів,
79013, Україна, 032-2582620,
E-mail:
iholovach@polynet.lviv.ua