

Список использованной литературы:

1. Эикхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эикхофф. — М. : Мир, 1975. — 683 с.
2. Райбман Н. С. Построение моделей процессов производства / Н. С. Райбман, В. М. Чадеев. — М. : Энергия, 1975. — 376 с.
3. Воронин В. В. Диагностирование технических объектов / В. В. Воронин. — Хабаровск : Хаб. гос. тех. ун-т, 2002. — 184 с.
4. Глущенко П. В. Техническая диагностика: моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов / П. В. Глущенко. — М. : Вузовская книга, 2004. — 248 с.
5. Емельянов С. В. Алгоритмы управления и идентификации / С. В. Емельянов, С. К. Коровин // Сб. науч. тр. Ин-т системного анализа. — М. : МГУ, 1997. — 170 с.
6. Латышев А. В. Применение методов идентификации для контроля вычислительных процессов / А. В. Латышев, И. Е. Ефимов // Тез. докл. IV Всесоюзн. совещ. по техн. диагностике. — 1979.

It is proposed review of identification methods, which are successfully applied for solving problems of technical diagnostics. Some methods of identification and them connection with the problem of diagnosing are considered in the article.

Key words: *mathematical model, identification, technical diagnostics*

Отримано: 02.03.2012

УДК 621.34–501.72

Р. Я. Паранчук, канд. техн. наук,

Я. С. Паранчук, д-р техн. наук

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ КООРДИНАТ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

Запропоновано ієрархічну структуру системи адаптивного екстремального керування режимами дугової сталеплавильної печі. Обґрунтовано модель синтезу оптимального керування та принцип оперативної корекції процесу регулювання на основі теорії нечітких множин.

Ключові слова: *дугова сталеплавильна піч, оптимізація, адаптація, корегування, синтез, нечіткий регулятор, критерій.*

Постанова проблеми. Як об'єкти керування, дугові сталеплавильні печі (ДСП) відносяться до класу складних взаємозв'язаних систем. Їх режимам властивий динамічний нестационарний нелінійний пофазно неси-

метричний характер. Зважаючи на значну встановлену потужність силового електрообладнання (від 1 до 175 МВА), задача реалізації енергоефективних режимів плавлення є важливою та актуальною. Окрім підвищення показників енергоефективності, не менш важливою є задача якісної стабілізації координат електричного режиму в умовах неперервної дії інтенсивних нестационарних координатних та параметричних збурень, а також задача підвищення рівня електромагнітної сумісності режимів дугової сталеплавильної печі та електропостачальної мережі (енергосистеми). Ці задачі повинні розв'язуватися у комплексі з реалізацією оптимальних параметрів технологічного процесу, що гарантує отримання металопродукції (високолегованих і конструкційних сталей та прецизійних сплавів) із показниками якості, що відповідають чинним стандартам. Тому окреслені вище задачі повинні пов'язуватися воедино і розв'язуватися на основі комплексного системного підходу.

Аналіз досліджень і публікацій. Обґрунтований системний підхід доцільно реалізовувати у напрямку розроблення системотехнічних, схемних та алгоритмічних рішень, що скеровані на реалізацію стратегій багатокритеріального оптимального керування режимами плавлення, та у напрямку реалізації оптимальної стабілізації координат електричного режиму (ЕР) [1—3]. Реалізація окреслених вище стратегій на основі методів класичної теорії оптимального керування та регулювання вимагає наявності точної математичної моделі процесів в об'єкті керування, тобто моделей плавильного простору та силового кола (СК) живлення трифазної системи дуг. Останнє, зважаючи на наведені вище характеристики ДСП як об'єкта керування, без уведення спрощень та допущень є нерозв'язуваною задачею. Тому, як обґрунтовано у [3], доцільним підходом на шляху реалізації зазначених вище стратегій оптимального керування та регулювання є використання новітніх методів інтелектуального керування, зокрема методів теорії нечітких множин для керування технологічними процесами, які не потребують знання моделей процесів керованих об'єктів чи процесів.

Постановка задачі дослідження. Метою даного дослідження є розроблення нових та удосконалення відомих структурних та системотехнічних рішень, що скеровані на реалізацію стратегій багатокритеріального оптимального керування режимами та якісної стабілізації координат дугових печей на основі положень теорії нечітких множин.

Виклад результатів дослідження. Розроблені на основі окресленого вище підходу рішення для реалізації стратегій багатокритеріального оптимального керування та оптимальної стабілізації втілені у створеній структурі ієрархічної координатно-параметричної системи нечіткого оптимального керування та якісної стабілізації координат електричного режиму дугової сталеплавильної печі, функціональна блок-схема якої пока-

зана на рис. 1. Цій системі властиві розширені функціональні можливості з реалізації адаптивного багатокритеріального оптимального керування режимами плавлення в ДСП змінного струму, зокрема властивість екстремального керування продуктивністю дугової сталеплавильної печі (потужністю дуг) на повному інтервалі плавки.

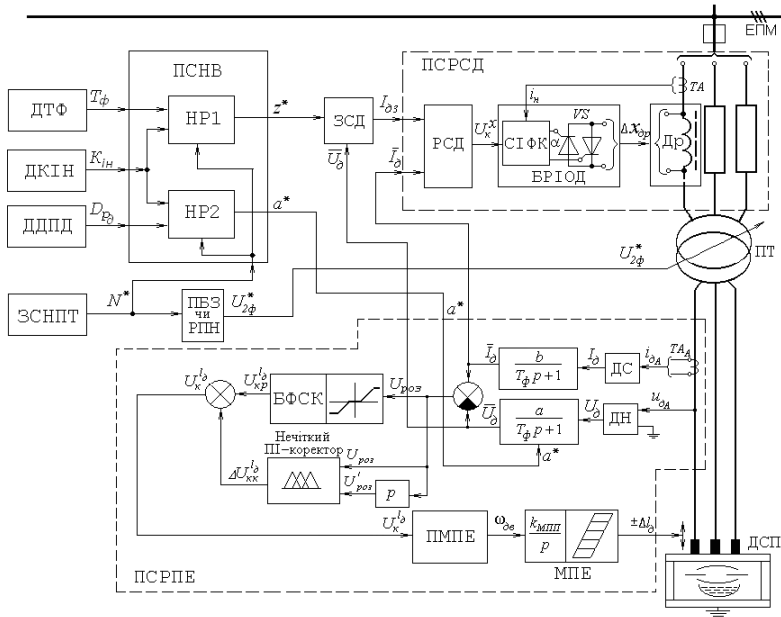


Рис. 1. Функціональна блок-схема ієрархічної системи екстремального нечіткого керування та оптимальної стабілізації координат дугової сталеплавильної печі

На верхньому рівні цієї ієрархічної системи функціонує підсистема нечіткого виводу ПСНВ, яка на основі двох нечітких регуляторів НР1, НР2 виконує оперативний синтез загальносистемного вектора керування, складовими елементами якого є залежність штучної зовнішньої характеристики (ШЗХ) $F^*(U_\delta)$ дугової сталеплавильної печі, уставка за напругою дуги $U_{\delta,уст}^*$ підсистеми регулювання положення електродів ПСРПЕ, що подається коефіцієнтом a^* диференційного закону $U_{роз} = a\bar{U}_\delta - b(\bar{I}_\delta - I_{\delta,уст})$ регулювання координат ЕР та ступінь напруги $U_{2\phi}^*$ пічного трансформаторного агрегату ПТ.

Найефективнішим, з точки зору комплексного впливу практично на всі показники електротехнологічної ефективності ДСП, є формування відповідно до вибраної стратегії оптимального (екстремального) керуван-

ня залежностей штучних зовнішніх характеристик печі $I_\delta = F(U_\delta)$. Оперативне їх формування в контексті поставленої стратегії максимізації потужності дуг у розробленій системі виконується у функції температури T_ϕ футерівки та коефіцієнта інтенсивності нагрівання шихти (розплаву) k_{in} . Температура найбільше нагрітої частини футерівки дугової печі отримується на виході давача температури футерівки ДТФ, а коефіцієнт інтенсивності нагрівання k_{in} оперативно розраховується у давачі коефіцієнта інтенсивності нагрівання ДКІН.

Коефіцієнт інтенсивності нагрівання шихти та розплаву дорівнює добутку квадрата діючого струму дуги на напругу на стовпі дуги і розраховується у відносних одиницях за таким виразом:

$$k_{in}^* (U_\delta^*, \gamma, \gamma_1(U_\delta^*)) = I_\delta^*(U_\delta^*)^2 \times U_\delta^* = \frac{\left(-U_\delta^* + \sqrt{1 + \gamma_1(U_\delta^*)^2 \times (1 - U_\delta^{*2})}\right)^2 \times 1 + \gamma^2}{\left(1 + \gamma_1(U_\delta^*)^2\right)^2} \times U_\delta^*, \quad (1)$$

де $U_\delta^* = U_\delta / U_{2\phi}$ — відносна діюча напруга на стовпі дуги;

$I_\delta^* = \frac{I_\delta}{I_\delta^0} = \frac{I_\delta \cdot \sqrt{r^2 + x^2}}{U_{2\phi}}$ — відносний діючий струм дуги;

$\gamma = x / r$; $\gamma_1(u_\delta) = (x + x_{dp}(u_\delta)) / r$ — характеристичні нормовані параметри силового кола ДСП; $x_{dp}(U_\delta^*)$ — закон регулювання еквівалентного індуктивного опору дроселя Др, що визначає необхідний закон регулювання певної режимної координати печі; r , x , x_{dp} — активний та індуктивний опір однієї фази печі та еквівалентний індуктивний опір тиристорно-регульованого дроселя Др.

На рис. 2 показано природну $I_\delta(U_\delta)$ 1 і доцільні для реалізації окресленої вище стратегії багатокритеріального оптимального керування за комплексним критерієм максимуму продуктивності (потужності дуг) штучні зовнішні характеристики 2-6 дугової сталеплавильної печі ДСП-6.

Математичний опис наведеного на рис. 2 сімейства ШЗХ для реалізації керування за комплексним критерієм максимуму продуктивності отримано на основі такого аналітичного виразу:

$$I_\delta(U_\delta) = k(U_\delta, z) \cdot I_\delta^{np}(U_\delta) = k(U_\delta, z) \frac{-U_\delta R + \sqrt{(U_\delta R)^2 + \left(R^2 + (X + X_{dp}(U_\delta))\right)^2 (U_{2\phi}^2 - U_\delta^2)}}{R^2 + \left(X + X_{dp}(U_\delta)\right)^2}, \quad (2)$$

де $I_{\delta}^{np}(U_{\delta})$ — природна зовнішня характеристика дугової печі (характеристика 1 на рис. 2); R, X — активний та реактивний опір короткої мережі ДСП; $U_{2\phi}$ — вторинна фазна напруга пічного трансформатора ПТ;

$$k(U_{\delta}, z) = \begin{cases} \frac{-(U_1 - U_{\delta})^{1.05}}{z} & \text{якщо } U_{\delta} \leq U_1; \\ 1 & \text{якщо } U_{\delta} > U_1, \end{cases} \quad \text{— сформована функція, що}$$

подає нелінійну залежність масштабного коефіцієнта аналітичної залежності, наведених на рис. 2 сімейства ШЗХ печі ДСП-6; U_1 — уставка за напругою дуги підсистеми регулювання положення електродів ПСРПЕ; z — варіативний коефіцієнт аналітичної залежності (2) ШЗХ ДСП, який є елементом вектора керуючих впливів в оптимізаційній моделі оптимального керування для критерію $P_{\delta}(U_{\delta}) \Rightarrow \max$ (для формування штучних зовнішніх характеристик 2, 3, 4, 5, 6 на рис. 2 цей коефіцієнт приймає значення 1250, 500, 300, 200, 125 відповідно).

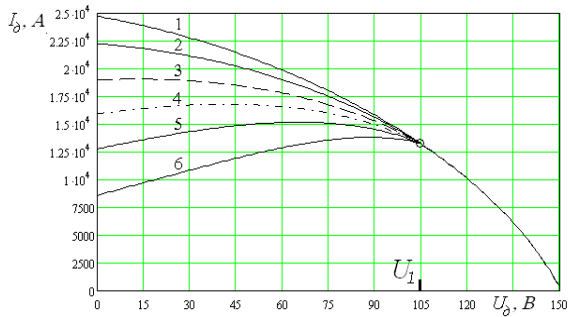


Рис. 2. Природна $I_{\delta}(U_{\delta})$ 1 та штучні 2-6 зовнішні характеристики дугової печі типу ДСП-6 для критерію $P_{\delta}(U_{\delta}) \Rightarrow \max$

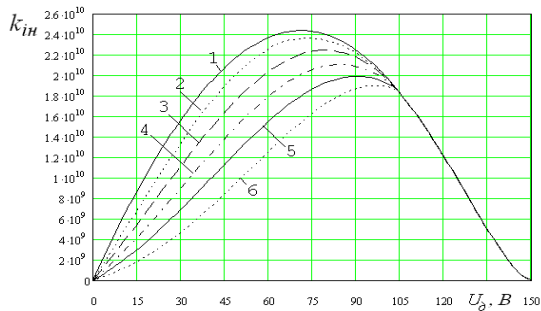


Рис. 3. Залежності коефіцієнта інтенсивності нагрівання шихти печі ДСП-6 для природної 1 та штучних 2-6 зовнішніх характеристик

Дисперсія електричних та технологічних координат упродовж плавки змінюється у широких межах і залежить від багатьох факторів і, перш за все, від структури і налаштування електромеханічної ПСРПЕ та швидкодійної електричної підсистеми регулювання струмів дуг ПСРСД, типу і способу укладання шихти тощо. Тому практичний інтерес представляють інтегральні характеристики координат плавлення при різних значеннях уставки за напругою дуг $U_{\delta,уст}$.

На рис. 4, як приклад, показано залежності інтегральних значень потужності дуг $\bar{P}(U_{\delta})$ та реактивної потужності $\bar{Q}(U_{\delta})$ дугової печі ДСП-6, які розраховані для відповідних до вибраної стратегії оптимального керування $P_{\delta}(U_{\delta}) \Rightarrow \max$ штучних зовнішніх характеристик 2-6 (рис. 2). Ці інтегральні характеристики наочно ілюструють вплив різних залежностей ШЗХ та уставок $U_{\delta,уст}$ ПСРПЕ на інтегральні значення потужності дуг та реактивної потужності дугової сталеплавильної печі.

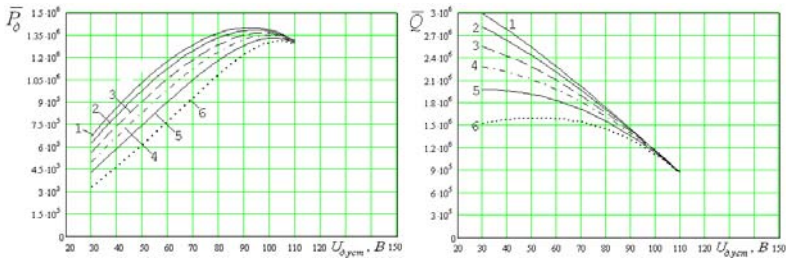


Рис. 4. Інтегральні природна 1 та штучні 2-6 характеристики потужності дуг $\bar{P}(U_{\delta})$ та реактивної потужності $\bar{Q}(U_{\delta})$ печі ДСП-6 з урахуванням стохастичних характеристик флуктуацій напруг на дугах

Отримані інтегральні характеристики покладено в основу проектування нечітких регуляторів НР1 та НР2 розробленої ієрархічної системи адаптивного екстремального керування потужністю дуг (рис. 1), які призначені для оперативного синтезу оптимальної залежності ШЗХ $F^*(U_{\delta})$ (що задається коефіцієнтом z^*) та оптимальної уставки за напругою дуг $U_{\delta,уст}^*$ (що задається коефіцієнтом a^*) ПСРПЕ відповідно. Такі ШЗХ описуються (наближуються) аналітичною залежністю (2), кожна з яких однозначно ідентифікується її коефіцієнтом z .

На виході регулятора НР1 синтезується поточне значення формуючого коефіцієнта z , що виокремлює із сімейства ШЗХ одну оптимальну $F^*(U_{\delta})$. Синтезується коефіцієнт z у функції вхідних сигналів НР1: температури T_{ϕ} футерівки печі у точці найбільшого її нагрівання, значення

якої отримується з виходу давача температури футерівки ДТФ печі, і коефіцієнта інтенсивності нагрівання шихти та розплаву k_{in} , що знімається з виходу давача коефіцієнта інтенсивності нагрівання ДКІН.

Інформація про залежність ШЗХ (значення z) поступає на керуючий вхід задавача струму дуги ЗСД підсистеми регулювання струмів дуг ПСРСД. На другий вхід ЗСД поступає поточне значення напруги дуги \bar{U}_δ відповідної фази, у функції якого за залежністю $I_{\delta z} = F^*(U_\delta, z^*)$ обчислюється сигнал завдання керування $I_{\delta z}$, який поступає на перший вхід ПІ-регулятора струму дуги РСД. Вихідний сигнал РСД U_κ^x поступає на вхід системи імпульсно-фазового керування СІФК блоку регулювання індуктивного опору БРІО дроселя Др ПСРСД. На виході СІФК формуються керуючі імпульси, які поступають на керуючі електроди силових тиристорних ключів VS . Зміною значення кута α відкриваючих імпульсів здійснюють вплив на еквівалентний індуктивний опір x дроселя Др відповідної фази і реалізується, тим самим, необхідний для отримання синтезованої оптимальної ШЗХ $F^*(U_\delta)$ дугової сталеплавильної печі закон регулювання струмів дуг $I_{\delta z} = F^*(U_\delta, z^*)$.

Поточне оптимальне дискретне значення уставки за напругою дуги $U_{\delta,уст}^*$ (що подається коефіцієнтом a^*) формується на виході нечіткого регулятора НР2 у функції зміни коефіцієнта k_{in} і дисперсії потужності дуг D_p . Включення у вхідний вектор ПСНВ дисперсії потужності дуг D_p дає змогу ефективно відслідковувати екстремум характеристики потужності дуг $\bar{P}_\delta(U_\delta)$, що відповідає вибраному критерію максимізації продуктивності (потужності дуг) $P_\delta(U_\delta) \Rightarrow \max$ дугової печі. Оптимальне значення уставки $U_{\delta,уст}^*$ за напругою дуги з виходу НР2 поступає на керуючий вхід підсистеми регулювання положення електродів ДСП.

Бази правил і функції належності, які реалізовані в нечітких регуляторах НР1 і НР2 ПСПВ, проектується апіорно для кожного ступеня напруги $U_{2\phi}^*$ електропічного трансформатора ПТ. Їх вибір і реалізація виконуються у функції сигналу ступеня напруги пічного трансформатора ПТ N^* , який з виходу задавача ступеня напруги пічного трансформатора ЗСНПТ поступає на вхід пристроїв ПБЗ чи РПН, що встановлюють у пічному трансформаторі оптимальну вторинну напругу $U_{2\phi}^*$ у відповідності

з сигналом N^* . Цей же сигнал з виходу задавача ЗСНПТ поступає також на керуючий вхід підсистеми нечіткого виводу ПСНВ для вибору бази правил та функцій належності нечітких регуляторів НР1 і НР2, що відповідають поточній ступені N^* . У функції ступеня напруги $U_{2\phi}^*$ включаються у роботу апріорно синтезовані моделі нечітких регуляторів НР1 та НР2, які використовуються для поточного синтезу оптимальних керуючих впливів: z^* та a^* .

Основною причиною низької динамічної точності регулювання координат ЕР (напруг, струмів, потужностей дуг) є випадкові нестаціонарні флуктуації параметрів дугових проміжків, зокрема, довжин дуг, градієнта напруги на дугах, а також наявність нелінійностей, люфтів, зон нечутливості в елементах системи керування, привода та механізма переміщення електродів (ПМПЕ, МПЕ). Одним з основних факторів, що погіршує показники динаміки і, як наслідок, призводить до значної дисперсії координат ЕР, є нелінійність зовнішньої характеристики дугової печі $I_\delta(U_\delta)$ в околі малих та середніх відхилень довжин дуг від усталеного значення. Крім цього, має місце неперервна зміна залежності зовнішньої характеристики дугової сталеплавильної печі $I_\delta(U_\delta)$ у процесі її адаптації до змінюваних умов плавлення та критеріїв якості (вимог до показників якості керування). Ці зміни та нелінійність залежностей $I_\delta(U_\delta)$ в околі робочої точки печі призводять у процесі керування до зміни коефіцієнта підсилення ПСРПЕ, що спричинює відхилення показників динаміки регулювання, тобто призводить до зміни перехідної характеристики ПСРПЕ. Це є додатковою причиною значних перерегулювань у процесі відпрацювання збурень електричного режиму.

Деякі елементи кінематичної схеми механізму переміщення електродів МПЕ мають обмежену жорсткість, що призводить до виникнення пружних коливань електродів у трьох координатах і внесення, тим самим, додаткових збурень за довжиною дуг у процесі регулювання довжин дуг. Окрім цього, за причини неможливості реалізації точного неперервного контролю напруг на дугах $u_{\delta,j}(t)$ ($j=A,B,C$), у функції усереднених значень яких згідно з диференціальним законом формується сигнал керування на переміщення електродів U_K^l , процес регулювання довжин (напруг) дуг проходить за неповної і нечіткої інформації. Зазначені фактори обмежують зону стійких режимів підсистеми регулювання положення електродів, через що для отримання необхідного запасу стійкості ПСРПЕ знижують її коефіцієнт підсилення по прямому каналу та максимальні швидкості переміщення еле-

ктродів, а також вводять зону нечутливості за сигналом розузгодження. Уведена у прямому каналі зона нечутливості хоча і дещо поліпшує показники динаміки, проте водночас погіршує статичну точність регулювання (знижує точність підтримання усереднених значень координат електричного режиму на рівні заданих значень). Останнє погіршує низку показників електротехнологічної ефективності плавлення сталей і сплавів в дугових печах.

Оптимальним для підсистеми регулювання положення електродів є реалізація аперіодичного характеру відпрацювання збурень за довжиною дуги і за максимально можливою швидкодії, що позитивно впливає на зменшення дисперсії координат електричного режиму.

Наведені вище особливості та характеристики підсистеми регулювання положення електродів ПСРПЕ унеможлиблюють на основі використання методів класичної теорії автоматичного керування реалізацію адаптивної оптимальної стабілізації координат ЕР. Тому для досягнення поставленої задачі, тобто для підвищення динамічної точності регулювання координат ЕР, нами запропоновано використати принципи теорії нечітких множин, а саме застосувати нечітку динамічну корекцію сигналу керування на переміщення електродів $U_K^{l_0}(t)$, що реалізується нечітким ПІ-регулятором. Запропоновану структуру підсистеми регулювання положення електродів ПСРПЕ з нечіткою корекцією сигналу керування показано на рис. 1. Ключовими чинниками, що визначають ефективність використання нечіткої корекції, є обґрунтування стосовно вирішуваної задачі якісної стабілізації координат ЕР дугової печі процедури фазифікації, дефазифікації та моделі системи нечіткого виводу, які у запропонованій структурі ПСРПЕ реалізовано у нечіткому ПІ-коректорі.

Відзначимо, що використання чинного у типових серійних системах автоматичного регулювання електричного режиму ДСП (регуляторів потужності дуг) диференційного закону формування сигналу керування дає змогу надійно ідентифікувати та реалізувати відпрацювання режимів екстремальних відхилень координат ЕР, тобто ефективно та надійно відпрацьовувати режими запалювання дуг та експлуатаційних коротких замикань [4]. Тому цей принцип керування, як базовий, доцільно зберегти в моделі формування сигналу керування на переміщення електродів при удосконаленні ПСРПЕ структури, а для підвищення якості динаміки виконувати адаптивну оперативну корекцію сигналу керування $U_K^{l_0}(t)$ на переміщення електродів.

Корегуюча складова сигналу керування $\Delta U_{KK}^{l_0}$ формується на виході нечіткого ПІ-регулятора, який включається паралельно до блоку формування сигналу керування БФСК (рис. 1). За такого підходу, сигнал керування на переміщення електроду, що поступає на вхід

привода механізму переміщення електрода ПМПЕ розраховується як $U_{\kappa}^{l_0} = U_{\kappa p}^{l_0} + \Delta U_{\kappa \kappa}^{l_0}$, де $U_{\kappa p}^{l_0}$ — основна складова сигналу керування, що формується в БФСК у функції вхідного диференційного сигналу розузгодження: $U_{роз} = aU_{\delta} - b(I_{\delta} - I_{\delta,уст})$, де U_{δ} , I_{δ} — усереднені на періоді напруги живлення сигнали напруги та струму дуги, які формуються на виходах фільтрів низької частоти каналу вимірювання напруги та струму дуги відповідно; a, b — сталі коефіцієнти пропорційності, що задають точку усталеного електричного режиму; $I_{\delta,уст}$ — уставка за струмом дуги диференційного регулятора потужності дуг (підсистеми регулювання положення електродів), яка функціонально залежить від уставки за напругою дуги $U_{\delta,уст}^*$ (коефіцієнта a^*), що оперативно синтезується на вищому рівні в підсистемі нечіткого виводу (в НР2).

На основі аналізу отриманих часових залежностей реакції підсистеми регулювання положення електродів на одиничну зміну довжини дуги запропоновано в якості коректора використати нечіткий ПП-регулятор Такагі — Сугено з постійним виходом. Вхідними його сигналами є сигнал розузгодження $U_{роз}$ (що опосередковано подає оцінку похибки регулювання довжини дуги), та приріст цього сигналу $\Delta U_{роз}$ (похідна похибки регулювання довжини дуги) (рис. 1)

Вихідний корегуючий сигнал $\Delta U_{\kappa \kappa}^{l_0}$ додається до основного сигналу керування $U_{\kappa p}^{l_0}$ підсистеми регулювання положення електродів (наприклад, серійного регулятора потужності дуг АРДМ-Т), що формується за диференціальним законом керування. Вихідний сигнал нечіткого ПП-регулятора Такагі-Сугено формується за такою моделлю правил нечітких продукцій: **якщо** $U_{розк} \in A_{1\kappa}$ і $U_{розк} \in A_{2\kappa}$ **тоді** $\Delta U_{\kappa \kappa}^{l_0} \in B_{\kappa}$, де B_{κ} — значення виходу для відповідних діапазонів значень вхідних сигналів нечіткого регулятора. Оцінка параметрів функцій належності та значення вихідного сигналу для кожного діапазону розраховано за результатами аналізу реакцій електромеханічної підсистеми переміщення електродів диференційного типу (серійного регулятора потужності дуг типу АРДМ-Т) при дії в системі різних за амплітудою та знаком детермінованих збурень за довжиною дуги, що отримані на її цифровій моделі. Виконані на цифровій моделі такої ПСРПЕ дослідження показали значне зменшення чутливості показників динаміки до зміни параметрів елементів силового кола та зміни параметрів стохастичних характеристик збурень, що діють у дугових проміжках. У результаті отримано зменшення дисперсії координат електричного режиму в квазістатичному режимі відпрацювання неперервних випадкових збурень, що виникають у дугових проміжках та зміни параметрів елементів силового кола дугової сталеплавильної печі.

Висновки. Запропонована стратегія адаптивного екстремального керування продуктивністю ДСП і її реалізація на основі підсистеми нечіткого виводу (двох нечітких регуляторів НР1 та НР2) дають змогу підвищити низку показників електротехнологічної ефективності, зокрема за інших рівних умов підвищити продуктивність (потужність дуг) печі, зменшити втрати електричної потужності в елемента короткої мережі дугової печі, зменшити споживання реактивної потужності, підвищити динамічну точність стабілізації координат електричного режиму тощо.

Використання адаптивної нечіткої моделі корекції сигналу керування на переміщення електродів дає змогу реалізувати близьку до інваріантної реакцію ПСРПЕ на параметричні чи координатні збурення. За реалізації такої корекції у розробленій системі екстремального керування досягається якісна стабілізація координат ЕР на рівні синтезованих оптимальних уставок, що є додатковим чинником у комплексному поліпшенні показників електротехнологічної ефективності.

За такої моделі синтезу корегуючого сигналу на переміщення електродів, що відповідає стохастичній нелінійній природі процесів в об'єкті керування, досягається підвищення показників електротехнологічної ефективності та показників електромагнітної сумісності режимів дугової сталеплавильної печі та електропостачальної мережі.

Список використаних джерел:

1. Нейромережева система адаптивного оптимального керування потужністю дуг дугової сталеплавильної печі / О. Ю. Лозинський, А. О. Лозинський, Р. Я. Паранчук, Я. С. Паранчук // Вестник НТУ ХПИ. “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика”. — Харків : НТУ ХПИ, 2010. — С. 583–586.
2. Система оптимального керування технологічним процесом в дугових сталеплавильних печах / О. Ю. Лозинський, А. О. Лозинський, Р. Я. Паранчук, Я. С. Паранчук // Науково-практичний журнал “Новини науки Придніпров’я”. — Дніпропетровськ : Днепр-VAL, 2008. — №3-4. — С. 95–98.
3. Паранчук Р.Я. Система багатокритеріальної адаптивної оптимізації електротехнологічної ефективності плавлення сталей в дугових сталеплавильних печах на основі принципів нечіткого керування / Р. Я. Паранчук // *Экология и промышленность*. — 2010. — № 3(24). — С. 79–84.
4. Паранчук Я. С. Дослідження законів регулювання довжини дуги у двоконтурній системі керування режимами дугової сталеплавильної печі / Я. С. Паранчук // *Вісник Технологічного університету Поділля. Науковий журнал*. — 2002. — № 3. — С. 173–177.

A hierarchical structure of a system for arc steel furnace regimes extreme adaptive control is proposed. The model of optimal control synthesis and the principle of operational correction of control process based on fuzzy sets theory are substantiated.

Key words: *arc steelmaking furnace, optimization, adaptation, adjustment, synthesis, fuzzy control, criterion.*

Отримано: 22.03.2012