

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТАДІЙ ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ДСП НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖІ КОХОНЕНА

Вступ. Однією з найважливіших проблем електрометалургійної галузі України є зниження енергоємності та підвищення електротехнологічної ефективності плавлення сталей в дугових сталеплавильних печах (ДСП). Особливо гостро ця проблема постала на сучасному етапі в умовах дефіциту та непевного зростання цін на енергоносії. Тому важливим та актуальним є розроблення та практичне використання рішень, що скеровуються на зменшення питомих витрат енергоресурсів, зокрема електричної енергії, та підвищення продуктивності ДСП.

Постановка задачі дослідження. Дієвим чинником вирішення окресленої вище проблеми є реалізація стратегій багатокритеріального адаптивного керування, бо, як показали результати досліджень, ефективність оптимального керування у плані зменшення питомих витрат електроенергії та підвищення продуктивності печі є у два-три рази вищою за розроблення рішень на якісну стабілізацію координат електричного режиму. Особливо важливою ця стратегія керування є для сучасних високоімідансних дугових печей з підвищеною до 0.8-1.1 МВА/т питомою потужністю встановленого силового електрообладнання і веденням плавки на високих (до 1100В) напругах дуг. Зважаючи на це, задача оперативності та ефективності оптимального керування такими потужними потоками електричної енергії стає дуже важливою та актуальною.

Керування процесом електросталеплавлення в ДСП має ряд особливостей, що пов'язані з фізико-хімічним станом шихти та розплаву, зокрема необхідність у відповідні моменти плавлення адекватно змінювати керуючі та коректуючі впливи: уставки за струмом чи напругою дуг, ступінь напруги пічного трансформатора, виконати підвалку, скачати шлак, повернути ванну печі тощо. Отримати максимальну ефективність від реалізації багатокритеріальних стратегій оптимального керування можна лише за умов наявності точної оперативної інформації про поточний фізико-хімічний стан шихти та розплаву [1]. Останнє вимагає розроблення рішень для розпізнавання технологічних стадій та ідентифікації моментів їх змін, бо це дає змогу підвищити точність реалізації оптимальних директивних графіків плавлення сталей чи сплавів і, як наслідок, гарантовано отримувати бажані техніко-економічні показники роботи дугової печі та показники якості електросталей.

Аналіз останніх рішень. На більшості дугових печей висновок про наявність у плавильному просторі печі тої чи іншої технологічної стадії плавлення приймаються суб'єктивно і мають обмежену точність. Тому виконувані у функції до цього зміни керуючих чи технологічних впливів не завжди є адекватними та своєчасними і тому не відповідають вимогам оптимального керування. Як наслідок – знижуються техніко-економічні показники ДСП.

У роботі [2] описана модель розпізнавання технологічних стадій, що ґрунтується на методі Байєса перевірки статистичних гіпотез. Система розпізнавання технологічних стадій плавлення, що відповідає цій моделі, реалізована і використовується в складі АСУ ТП плавлення на печах типу ДСП-100 Донецького металургійного заводу. Її підсистема інформаційного забезпечення реалізована на аналоговій елементній базі і тому не завжди відповідає вимогам точності визначення інтегральних значень інформативних параметрів процесу плавлення, функціональним можливостям оперативного перенастроювання та адаптації до змінюваних умов плавлення.

Адекватніший до умов плавлення в ДСП підхід для розпізнавання стадій запропоновано у роботі [3]. В його основу покладено новітні нейромережеві технології ідентифікації, що у повній мірі відповідають стохастичній природі процесів у плавильному просторі печі і характеру зміни зовнішніх умов плавки.

Метою дослідження є розроблення архітектури нейронної мережі для розпізнавання технологічних стадій, обґрунтування моделі та виконання процедури навчання та тестування нейронної мережі.

Виклад основного матеріалу. Для отримання інформації про характеристики зміни формальних ознак – інформативних параметрів електричного та технологічного режимів, що тісно корельовані з процесом зміни технологічних стадій у процесі електросталеплавлення, виконано цифрову реєстрацію процесів зміни миттєвих значень струмів та напруг дуг і активної енергії упродовж 10 експериментальних плавок на дуговій печі ДСП-3.

Зміна технологічних стадій, що ідентифікувалися у досліджених плавках цієї печі, відповідала графу рис.1.

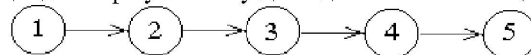


Рис.1. Граф стану технологічного процесу в дуговій печі типу ДСП-3: 1, 3 - проплавлення колодязів; 2, 4 - обвали шихти та горіння дуг на "озерце металу"; 5 – стадія окислення розплаву (1, 2 – основна завалка; 3, 4 - підвалка).

Результати опрацювання результатів цифрової реєстрації з визначення формальних ознак для опису процесу плавлення показали, що найвищий рівень інформативності властивий гармонічним складовим струмів дуг, а саме 2-й, 4-й та 6-й гармонікам, оцінкам компонент вейвлет-спектра сигналів струмів дуг у діапазоні 200-300Гц, а також спожитій активній електричній енергії [3,4]. Сукупність вказаних ознак x_j описує об'єкт $I(\omega) = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$.

Отже, якщо задана множина М-об'єктів $\{\omega\}$ і на ній є розбиття на скінчене число класів $\Omega_k, k = \overline{1, m}, \bigcup_{k=1}^m \Omega_k = M$,

то задача розпізнавання стадій полягає в тому, щоб для даного об'єкта ω і набору класів $\Omega_k, k = \overline{1, m}$ за

описом $I(\omega)$ обчислити значення предикатів $P(\omega \in \Omega_k)$, $k = \overline{1, m}$, а далі вирішити задачу групування об'єктів.

Виконаний аналіз та проведені дослідження показали, що доцільним підходом для окресленої задачі групування об'єктів є використання нейромережі Кохонена – самоорганізуючої штучної нейромережі, яка навчається на описах об'єктів. Така мережа є адаптивним алгоритмом, що призначений для “навчання без вчителя”. Основною задачею такого алгоритму є кластеризація (групування) об'єктів, які мають подібні описи в прийнятій метриці. За міру схожості прийнято Евклідову відстань.

Структура отриманої нейронної мережі Кохонена для розпізнавання вказаних вище п'яти стадій плавлення за вхідним вектором стану, що подається поточними інтегральними значеннями 2-ї, 4-ї та 6-ї гармонік струмів дуги кожної фази та спожитої активної електричної енергії з початку плавлення, показано на рис.2.

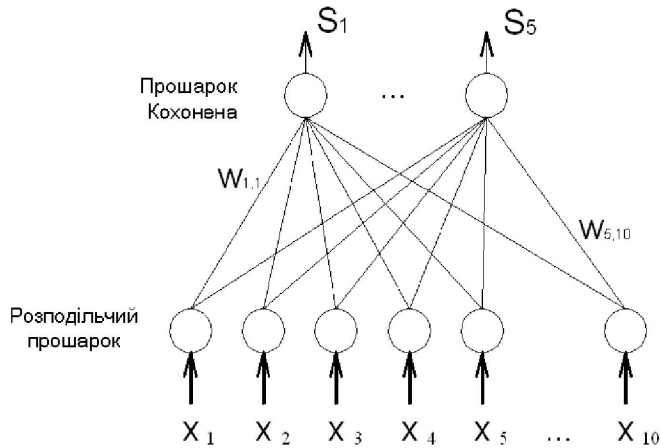


Рис.2. Нейронна мережа Кохонена для розпізнавання технологічних стадій плавлення в дуговій печі ДСП-3

Нейромережа містить п'ять вихідних нейронів у прошарку Кохонена, кожний з яких отримує десять вхідних сигналів x_1, x_2, \dots, x_{10} , з вхідного (розподільчого) прошарку, що є прямим передавачем сигналів. Входу i з j -м виходом припишемо вагу w_{ji} і відповідно отримуємо матрицю синаптичних зв'язків W . Функція нейрона вихідного прошарку Кохонена полягає в обчисленні інтенсивності I_j за формулою $I_j = D(W_j, X)$, де $D(W_j, X)$ – деяка міра відстані чи величини зв'язку між W_j і X .

У процесі навчання такої нейронної мережі матриця синаптичних зв'язків W визначалася за виразом $W_j^{k+1} = W_j^k + \eta_j^k \cdot G^k(j, x^k) \cdot (x^k - W_j^k)$, де

$0 < \eta_j^k < 1$ – коефіцієнт навчання, який

зменшується упродовж навчання із ростом k ; $G^k(j, x^k)$ – функція сусідства, яка визначалася

формулою Гауса: $G^k(j, x^k) = \exp\left(-\frac{d^2(j, x^k)}{2 \cdot (\sigma^k)^2}\right)$, де $d(j, x^k)$ – відстань від j -го нейрона до нейрона переможця з

індексом w^k у k -ому циклі навчання, σ^k – параметр ширини функції Гауса.

За отриманими значеннями інтенсивності I_j нейронів вихідного прошарку Кохонена визначався елемент з екстремальним значенням I_j . Вихідному сигналу цього нейрона присвоюється 1, всім іншим – 0.

Навчальні і тестові вибірки для нейромережі сформовано за результатами опрацювання результатів досліджень на печі типу ДСП-3. Результати симулювання роботи навченої нейромережі Кохонена проілюстровані на рис.3.

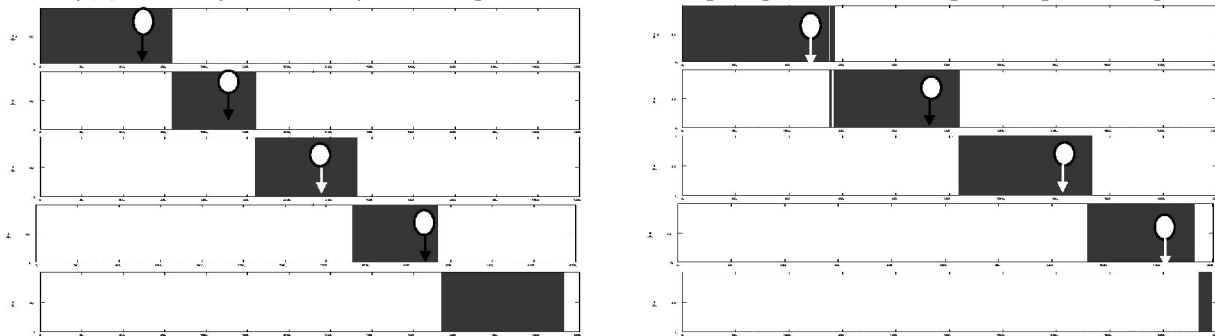


Рис.3. Зміна активності вихідних нейронів нейромережі Кохонена і стадій плавлення на інтервалі двох плавов

Для оцінки точності ідентифікації стадій плавлення синтезованою нейромережею Кохонена залучалися експерти (технологи). На діаграмах рис.3 мітками показано моменти зміни стадій плавлення, що визначалися експертами.

Висновок. Аналіз результатів тестування нейромережі (рис.3) показує достатню адекватність зміни активності вихідних нейронів нейромережі Кохонена до реальної зміни стадій плавлення в печі, що визначені експертами.

Перелік посилань.

1. Ситуаційне керування в дугових сталеплавильних печах: Монографія / Л.Д. Костинюк, А.О. Лозинський, О.Ю.Лозинський, А.В.Маляр, Я.Ю.Марущак, Я.С.Паранчук та ін. За ред. О.Ю. Лозинського, Я.Ю. Марущака. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2004. - 382.
2. Лозинский О.Ю., Костинюк Л.Д., Паранчук Я.С. Автоматизированное распознавание технологических стадий расплавления шихты // Электротехника, - 1986, №9. – С.39-42.
3. Лізанець В.В., Лозинський А.О., Паранчук Я.С. Аналіз форми струмів дугової сталеплавильної печі на основі wavelet-перетворення // Вісник ХНУ. – Хмельницький, 2007, №2, Т2. С.65-68.