

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВИЗНАЧЕННЯМ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СКЛАДІ МЕТАЛОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА

Черепанська І. Ю., Бродський Ю. Б., Прядко В. А.

Поліський національний університет, м. Житомир, cherepanskairina@gmail.com

Автоматизація визначення хімічних елементів у складі металовмісних матеріалів об'єктів виробництва (ОВ) в режимі реального часу з високою точністю є надзвичайно важливою та специфічною задачею сучасних металургійних, машинобудівних, оброблювальних та ін. виробництв. Актуальність задачі обумовлюється вимогами світового промислового ринку, що постійно зростають та міжнародними стандартами щодо якості продукції. Її успішне розв'язання сприяє забезпеченню стабільності технологічних процесів, необхідної якості продукції та конкурентоспроможності підприємств в цілому.

Найбільш перспективними методами, використовуваними в області автоматизації керування визначенням хімічних елементів у складі металовмісних матеріалів ОВ, є штучні нейронні мережі (ШНМ).

Синергетична інтеграція пропонованої ШНМ та фоточутливої матриці на компліментарних структурах метал-окисел-напівпровідник – CMOS-матриці у складі відомої інтелектуальної прецизійної гоніометричної системи (ППГС) [1], побудованої на базі відомої гоніометричної системи з кільцевим лазером ГСІЛ [2], дозволяє застосувати нові методи автоматизованого керування процесом обробки вимірювальної інформації у визначенні хімічного складу металовмісних матеріалів з високою швидкістю (до 2,5 с) в режимі реального часу та точністю (не менше 95 %).

Пропонована ШНМ виконує операцію автоматичного розпізнавання хімічних елементів, що можуть міститись у металовмісних матеріалах різних ОВ за їх спектральним розподілом, який формується на поверхні CMOS-матриці (рис. 1). Вхідні сигнали ШНМ змістовно відображають інтенсивність відбитого світлового випромінювання, що залежить від хімічного складу металів. На вхід ШНМ подається множина струмів $i(\lambda_i)$ насичення фотоелементів CMOS-матриці при опроміненні їх світлом із довжинами хвиль λ_i : $\{i_i(\lambda_i) \mid i \in \{C, P, S, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, Nb, N, Al, Ti, V, Mo, W, Co, B, Fe, \dots\}\}$, де C, P, S, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, Nb, N, Al, Ti, V, Mo, W, Co, B, Fe – умовне позначення деяких елементів, що можуть міститись у матеріалі ОВ. Множина струмів насичення $i(\lambda_i)$, відповідно до вимог технології ШНМ, формує вхідний вектор X , що подається на входи ШНМ. Розмірність вхідного вектора X та кількість нейронів на вході пропонованої ШНМ, що призначені для приймання вхідної інформації від CMOS-матриці, зумовлюється роздільною здатністю останньої. Так $X = \{x_s \mid s = \overline{1; S}\}$, де $S = c \times r$, де c – кількість стовпчиків матриці, r – кількість рядків матриці. Наприклад, у разі застосування CMOS-матриці OV16880 або OV20880 виробництва *OmniVision* (США) S становить 307500 пікселів. Причому на вхід пропонованої ШНМ подаються попередньо нормалізовані значення інтенсивностей спектрального розподілу, що містить 256 елементів, тому кількість вхідних нейронів становить 256.

У результаті роботи розробленої ШНМ формується цифровий сигнал, що відображає хімічний склад досліджуваного ОВ у вигляді вектора Y цифрових сигналів: $Y = \{y_m \mid m = \overline{1; M}\}$, де M – кількість хімічних елементів, які можуть бути визначені. Максимальне значення y_m на m -му відповідному виході ШНМ відповідає наявності у складі ОВ певного хімічного елемента (рис. 1). Розмірність вихідного шару пропонованої ШНМ становить 62 нейрони, відповідно до переліку хімічних елементів, що можуть міститися в металовмісних речовинах. Розмірність прихованого шару визначено емпірично за результатами навчання ШНМ та становить 275 нейронів.

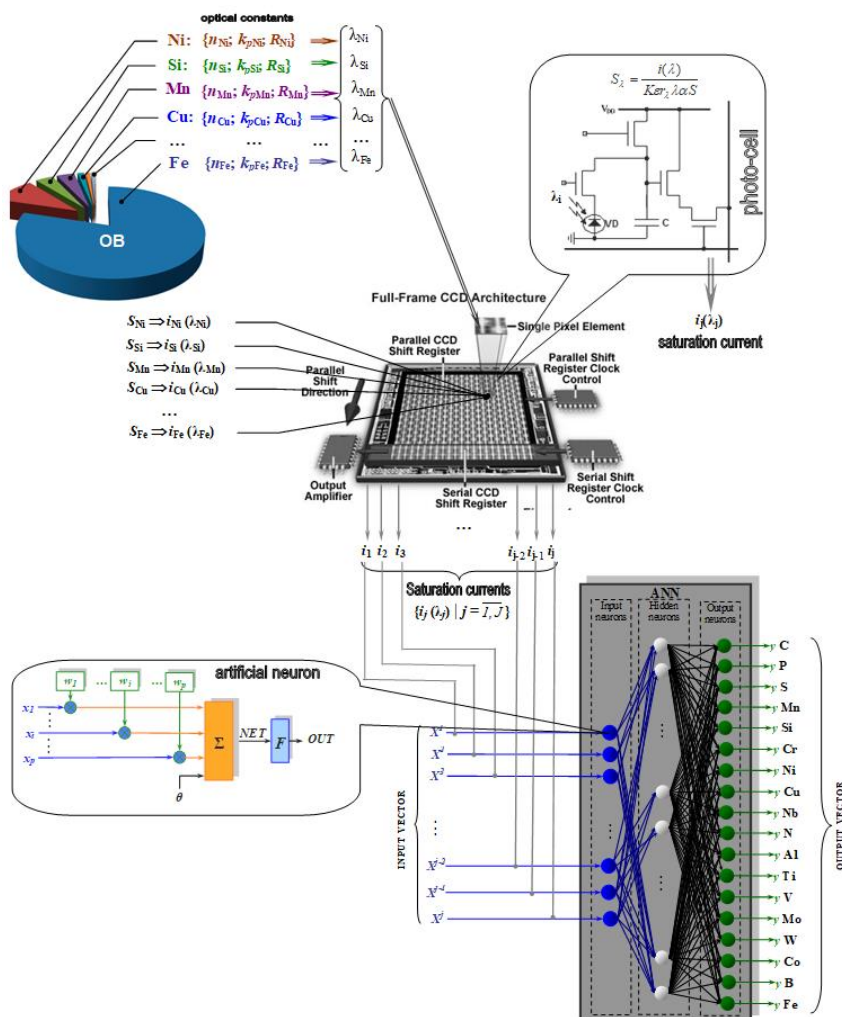


Рис. 1. Схематичне представлення функціональної взаємодії ШНМ із CMOS-матрицею у ППГС при визначенні хімічних елементів у складі металовмісних матеріалів ОВ

Рішення про наявність того чи іншого хімічного елемента у металі приймається так званим інтерпретатором відповіді «переможець отримує все», в якому кількість вихідних сигналів відповідає кількості варіантів відповіді, а номер відповіді – номеру нейрона, що видав максимальний сигнал на виході. Тобто під час визначення хімічного складу металовмісного матеріалу, на відповідних виходах ШНМ отримано максимальні значення сигналів, що відповідають наявності відповідних хімічних елементів. За оцінювальний функціонал навчання ШНМ прийнято величину похибки E , що не повинна перевищувати 0,05 або 5 %.

Розроблена ШНМ за типом реалізації нейроалгоритмів, характером реалі-

зації нелінійних перетворювань та можливістю побудови, реалізована нейроімітатором *Neural Analyzer* аналітичного пакету *Deductor Professional* (Lite-версії) за однією із відомих моделей (багатошаровий перцептрон) та інтегрована як спеціалізований програмний додаток в операційну систему персонального комп'ютера, яким оснащена ІПГС. Навчання ШНМ здійснено за методом «навчання з вчителем» за алгоритмом «*back propagation*».

Проведено комп'ютерне моделювання роботи розробленої ШНМ. Отримані результати вказують на її високу швидкодію (тривалість автоматизованого розпізнавання хімічних елементів не перевищує 2,5 с) в режимі реального часу та правильну (величина оцінюючого функціоналу відповідає прийнятому значенню, тобто $E \leq 5\%$ (див. рис. 2) роботу.

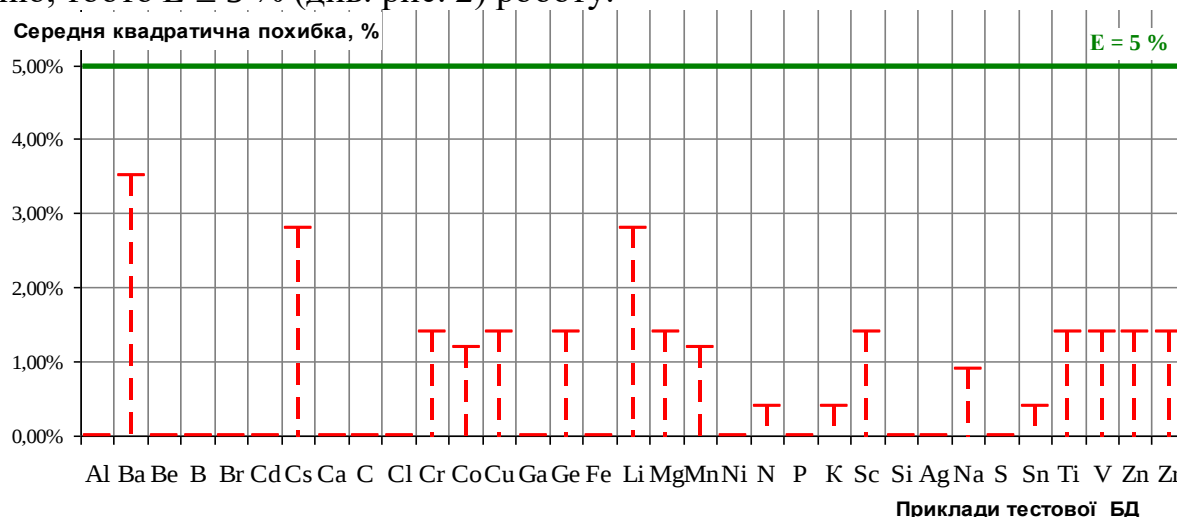


Рис. 2. Графічне представлення величини середньої квадратичної похибки E при функціонуванні розробленої ШНМ для умови $E \leq 5\%$

В цілому застосування розробленої ШНМ для автоматизації процесу керування визначенням хімічних елементів у складі металовмісних матеріалів ОВ забезпечує:

- підвищення швидкодії процесу автоматизованого визначення хімічних елементів у матеріалах ОВ до режимів реального часу (2,5 с);
- високу точність (95 %) визначення хімічних елементів у матеріалах ОВ;
- універсальність за рахунок синергетичної інтеграції високочутливої CMOS-матриці та ШНМ, яка здатна до швидкого перенавчання, що дозволяє розширювати діапазон хімічних елементів, які можуть бути визначені.

Можна вважати, що пропонується ШНМ є сучасною та перспективною розробкою для автоматизації процесу керування визначенням хімічних елементів у складі металовмісних матеріалів ОВ.

1. Cherepanska I., Bezvesilna O., Koval Yu., Sazonov A. Intelligent precise goniometric system of analysis of spectral distribution intensities for definition of chemical composition of metal-containing substances. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2019. Vol. 41. № 2 (41). P. 263–278.

2. Goniometric system GS1L. KP SPS Arsenal. Portal "Manufactures of machines and equipment" [Web source]. URL: http://ukraina.oborudunion.ru/i_store/item_1000014315/ugloizmeritelnaya-sistema-gs1l.html (Last accessed: 12.03.2020).