

УДК 004.93

Субботін С.О.<sup>1</sup>, Корнієнко О.В.<sup>2</sup>, Наривський О.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, зав. каф. ЗНТУ

<sup>2</sup> асп. ЗНТУ

<sup>3</sup> д-р техн. наук, проф., технічний директор ТОВ "Укрспецмаш"

## НЕЙРОМЕРЕЖА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОРОЗІЇ СТАЛІ

У виробництві теплообмінного обладнання часто використовують корозійностійкі сталі і сплави, леговані хромом, нікелем і молібденом. Ці конструкційні матеріали мають високу корозійну стійкість в багатьох агресивних середовищах, але можуть піддаватися виразковій корозії в оборотних водах, що містять хлориди.

Тому актуальною проблемою є побудова моделей залежності критичних температур виразкоутворення (КТВ) від характеристик використовуваної сталі та оборотної води.

Перспективним засобом побудови таких моделей є штучні нейронні мережі. Серед відомих архітектур нейронних мереж найбільш потужними і одночасно доступними для подальшого аналізу та сприйняття людиною є багатопарові нейронні мережі прямого поширення сигналу, які обрано як базис у даній роботі.

Проте недоліками моделей, побудованих на основі нейронних мереж прямого поширення сигналу, є їхня надлишковість, що також негативно впливає на інтерпретабельність побудованих моделей.

Отже, актуальним завданням є удосконалення методів побудови моделей на основі нейромереж прямого поширення сигналу.

Метою роботи було удосконалення математичного забезпечення побудови нейромоделей та їхнє застосування для вирішення задачі моделювання критичних температур виразкоутворення сталі.

Нейронна мережа прямого поширення має шарувату архітектуру: у таких моделях вхідні ознаки розпізнаваного екземпляра подаються на входи мережі та далі поширюються від вхідного шару до вихідного. Навчання нейронних мереж прямого поширення, як правило, проводиться на основі градієнтного методу та техніки зворотного поширення помилки. У процесі навчання мінімізується функція помилки мережі  $E$ , яка визначає різницю між виходами мережі і цільовими значеннями. В якості функції помилки доцільно використовувати середньоквадратичну помилку  $E$ .

Одним з методів оптимізації процесу навчання нейронних мереж є виключення нейронів. Він полягає у тому, що в процесі навчання деяка частина нейронів видаляється з мережі. На кожній ітерації навчання виключаються випадкові нейрони. Кожен нейрон може бути виключеним з

ймовірністю  $P$ . Ймовірність виключення може бути різною для кожного шару нейронної мережі. При тестуванні та під час роботи моделі нейрони не виключаються. При цьому вихідні значення нейронів на шарах, де використовувалося виключення помножуються на коефіцієнт  $Q = 1 - P$ ,  $P$  – ймовірність виключення нейронів на шарі.

Виключення нейронів дозволяє уникнути перенавчання моделі, що в більшості випадків приводить до збільшення точності моделі на тестових даних.

Для покращення узагальнюючих властивостей моделі пропонується визначати ймовірність виключення нейронів за їх впливом на помилку моделі:

$$P_n = \frac{P_b}{2} + \frac{P_b}{1 + e^{\frac{2Ck}{N} - k}},$$

де  $P_b$  – базова ймовірність виключення нейронів на шарі,  $N$  – кількість нейронів на шарі,  $C$  – кількість нейронів, для яких абсолютні значення градієнтів більші, ніж для  $n$ -го нейрона,  $k$  – коефіцієнт, що впливає на нелінійність залежності. Рекомендується обирати значення  $k$  з інтервалу  $[1, 10]$ .

Таким чином ймовірність виключення нейронів зростає зі збільшенням їх впливу на помилку.

При навчанні нейромережі з модифікованим методом виключення нейронів необхідно двічі розраховувати вихідні значення нейронів та градієнти. У перший раз вихідні значення та градієнти розраховуються з використанням всіх нейронів. Після цього визначаються нейрони, що повинні бути виключеними на ітерації. Далі проводяться етапи розрахування вихідних значень, розрахування градієнтів та етап корекції вагових коефіцієнтів з врахуванням виключених нейронів. При тестуванні та під час роботи нейромережі коефіцієнт  $Q$ , на який помножується функція активації, визначається за формулою  $Q = 1 - P_b$ , де  $P_b$  – базова ймовірність виключення нейронів.

Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує запропонований метод, та використано його для визначення критичних температур виразкоутворення. Використання модифікованого метода виключення нейронів дозволяє зменшити помилку моделі в середньому на 4% в порівнянні зі звичайним методом виключення.