

## АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИМ ПРИСТРОЄМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЛИТТЯ НА БАЗІ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

*Ця робота присвячена дослідженню та розробці адаптивної системи управління установкою електрогідравлічної очистки лиття (ЕГОЛ), що базується на використанні системи нечіткого і логічного висновку та нейро-нечітких мереж, для підвищення показників ефективності та стабільності роботи. Стратегія та оптимальний вибір функцій були обговорені. Результати моделювання представлені для перевірки продуктивності адаптивного управління.*

**Ключові слова:** нечітка логіка; нейро-нечіткі мережі; зачистка електричного заряду.

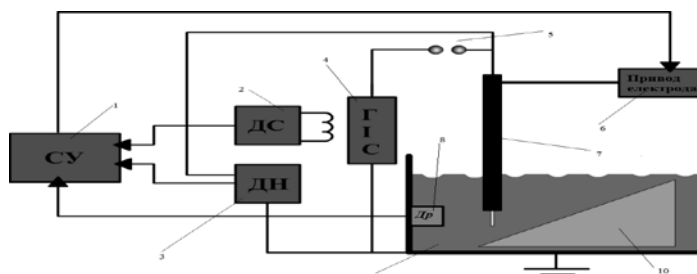
У техніці імпульсної обробки матеріалів електричний розряд у рідині часто відіграє роль основного діючого механізму в різних процесах. Найбільше поширення з точки зору технічного застосування електровибуху у воді отримала технологія очистки лиття від формувальної і стрижневої суміші. Технологічним завданням очищення виливків є руйнування стрижневої суміші, розташованої у внутрішніх порожнечках і на поверхні виливків і забезпечення умови її виносу гідропотоком. Існують різні методи очистки лиття: хімічний, ручний, піскоструминний, гідравлічний, гідроімпульсний. Виконання очистки лиття гідроімпульсним методом здійснюється за допомогою перетворення електричної енергії у механічну без проміжних ланок. Це перетворення забезпечує використання фізичного явища, що відомо за назвою електрогідравлічного ефекту (ЕГЕ).

В установці очистки лиття, використовується електровибухове перетворення енергії в каналі високовольтного розряду в рідині.

Відомі системи керування установками електрогідравлічної очистки лиття (ЕГОЛ) не забезпечують підтримку заданих режимів розряду при зміні технологічних параметрів і зовнішніх умов, що знижує ефективність електровибухового перетворення енергії, що звужує область застосування енергоефективних електророзрядних технологій.

Існуючі алгоритми управління ЕГОЛ зазвичай призначені для позиціонування робочого електроду в окремих точках заготівлі, але зовсім не передбачають повністю автоматичного управління, тобто наявна повна відсутність інтелектуальної складової.

Спрощена комплексна структурна схема установки ЕГОЛ зображено на рис. 1



**Рис. 1.** Структура установки ЕГОЛ:

- 1- система управління; 2 – датчик струму;
- 3 – датчик напруги; 4 – генератор імпульсних струмів;
- 5 – розрядник; 6 – електроприводи пересування електроду;
- 7 – електрод; 8 – датчики питомого опору;
- 9 – технологічний бак з водою; 10 – об'єкт обробки.

При зміні технологічних параметрів і зовнішніх умов задача полягає в необхідності синтезувати коригувальні пристрої та алгоритми, які нададуть системі управління властивості адаптивності. Це забезпечить розширення зони управління та підвищення точності підтримки оптимальних режимів в умовах невизначеності зовнішніх впливів та зміни технологічних характеристик процесу.

У цій статті досліджується адаптивний алгоритм управління ЕГОЛ, що базується на системах нечіткого висновку та нейронних мережах (метод нейро-нечітких мереж).

Основна ідея, покладена в основу нейро-нечітких мереж полягає в тому, що висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а для знаходження пара-

метрів функцій приналежності використовуються алгоритми навчання нейронних мереж.

Синтез алгоритму нечіткого контролера для фаззи-апроксимації залежностей між вхідними і вихідними координатами вектора стану об'єкта керування потребує визначення вхідних та вихідних змінних, створення бази правил та визначення функцій приналежностей змінних. У якості вхідних лінгвістичних змінних використовуємо  $I(n)$  (розрядний струм),  $\rho(n)$  (питомий опір). В якості вихідної змінної було обрано міжелектродний проміжок.

Кількість термів (лінгвістичних значень) для кожної змінної вибиралося рівної кількості рівнів значень за планом факторного експерименту. Функції приналежності (ФП) координат вхідного вектора  $I(n)$ ,  $\rho(n)$  апроксимувалися трапецієвидною функцією (рис. 2).

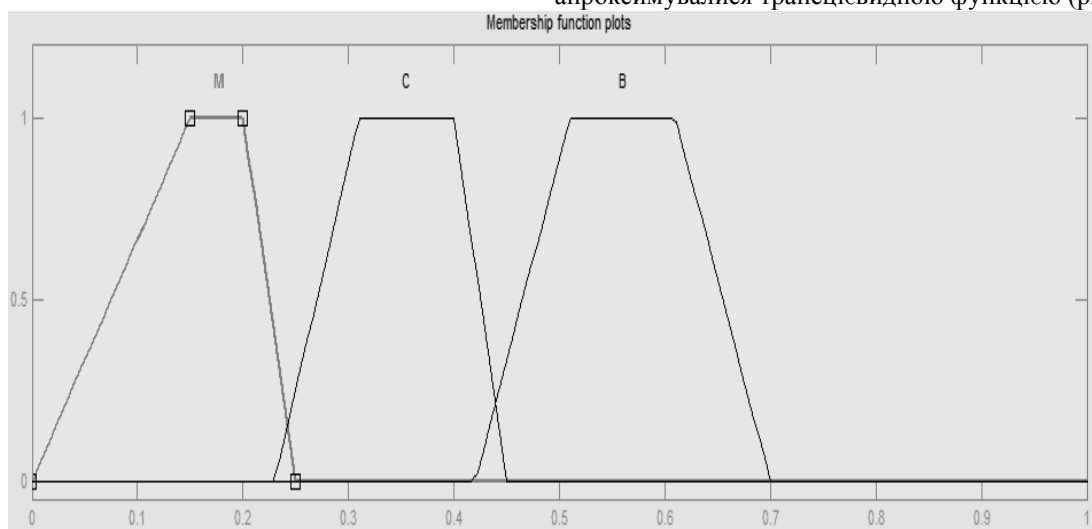


Рис. 2. Функції приналежності  $I(n)$

База правил була сформована на основі експериментальних даних (Табл. 1). База правил у вигляді нечітких логічних рівнянь «ЯКЩО А І В ТОДІ С», дозволяє зв'язати функцію приналежності вихідної

змінної й координати вхідного вектора, у результаті чого одержуємо лінгвістичні значення вихідної змінної.

Таблиця 1

**База правил системи нечіткого логічного висновку**

Питомий опір води Інформаційна змінна					
	ДМ	М		В	ДВ
М	С	В		ДВ	ДВ
С	М	М		В	В
В	ДМ	ДМ		М	ДМ

Таблиця 2

**Скорочення для значень термів лінгвістичних змінних**

Символічне значення	Ногація
ДМ	Дуже мале
М	Мале
С	Середнє
В	Велике
ДВ	Дуже велике

Модель нечіткого висновку може бути представлена у вигляді нечіткої мережі, за структурою іденти-

чно багатоварової нейронної мережі з прямим розповсюдженням сигналу (Рис. 3).

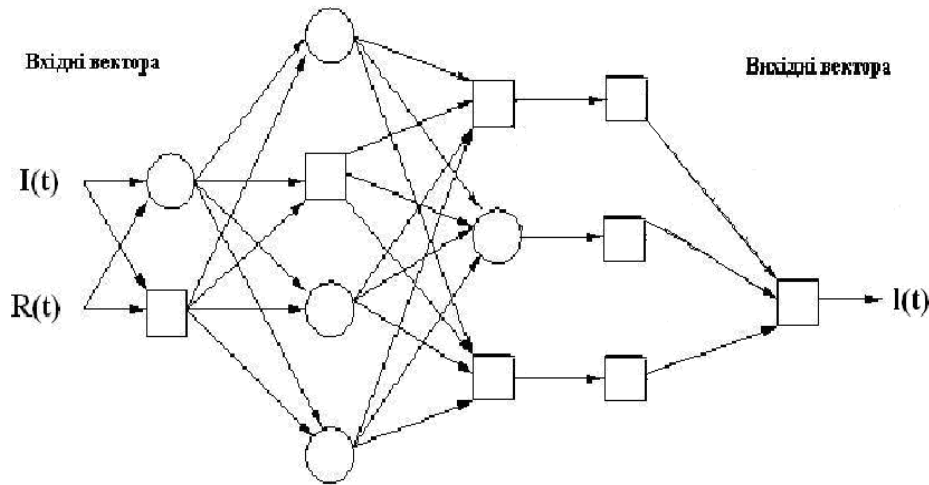


Рис. 3. Структура нейро-нечіткої мережі

Після того, як визначено число прошарків і кількість нейронів в кожному з них, потрібно знайти значення для їх параметрів (параметрами функцій приналежності, нечітких вирішальних правил), які спроможні мінімізувати похибку спродукованого результату. Саме для цього існують алгоритми навчання, де відбувається підгонка моделі мережі до наявних навчальних даних. Похибка для конкретної моделі мережі визначається шляхом проходження через мережу всіх навчальних прикладів і порівняння спродукованих вихідних значень з бажаними значеннями. Множина похибок створює функцію похибок, значення якої можна розглядати, як похибку мережі. В якості функції похибок найчастіше використовують суму квадратів похибок. Корегування параметрів нейронів виконується з використанням гібридного градієнтного методу (комбінація методів найменших квадратів та зворотнього розповсюдження).

Нині найбільш поширеною архітектурою є архітектура ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Використовуваний клас нейро-нечітких мереж є функціонально еквівалентним системі нечіткого виводу.

Кожний шар в ANFIS реалізують окремий етап нечіткого висновку.

1-й шар : виконує функцію введення нечіткості. Кожен вузол в цьому шарі є вузлом з функцією активації:

$$O_i^1(x) = \mu_{A_i}(x)$$

де  $x$  – є входом в цей вузол,  $A_i$  – лінгвістичної змінної (для лінгвістичної оцінки входних змінних).

Іншими словами,  $O_i^1(x)$  є функцією належності до  $A_i$ , і визначає ступінь, з якою  $x$  належить даному квантору.

Зазвичай вибирають  $\mu_{A_i}(x)$  з максимумом рівним 1 і мінімумом, що дорівнює 0. Для цього підходять дзвоноподібна функція приналежності:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{(x - c_i)^2}{a_i} \right]^{b_i}}$$

Або гаусівська функція :

$$\mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x - c_i)^2}{a_i}}$$

де  $a_i, b_i, c_i$  – це набір параметрів. У зв'язку з зміною цих параметрів, функція теж змінюється відповідним чином, представляючи різні форми функцій приналежності лінгвістичних змінних.

2-й шар : нейрони даного шару виконують множення входних сигналів і представляють собою вагу правила:

$$w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_{ij}}(x)$$

де  $m$  – кількість входних сигналів (тобто нечітких правил).

3-й шар : визначається  $i$ -й нейрон, що обчислює відношення ваги правила до суми ваг усіх правил:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

4-й шар : виконується функція активація нейронів за формулою:

$$O_i^4(x) = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

де  $\bar{w}_i$  – вихід слою 3, а  $\{p_i, q_i, r_i\}$  параметри правил Такагі-Сугено 1-го порядку.

5 – й шар: єдиний нейрон даного шару обчислює загальний вихід як суму вхідних сигналів:

$$O_1^5(x) = output = \sum w_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

Адаптивними шарами є перший і четвертий шари, в яких відбувається корегування параметрів функцій

приналежності і параметри нечітких правил відповідно.

Після реалізації алгоритму результат його роботи було порівняно з фактичними даними.

На рис. 4 показаний графік прогнозованих значень міжелектродного проміжку на основі створеного програмного алгоритму, а також фактичні значення міжелектродного проміжку.

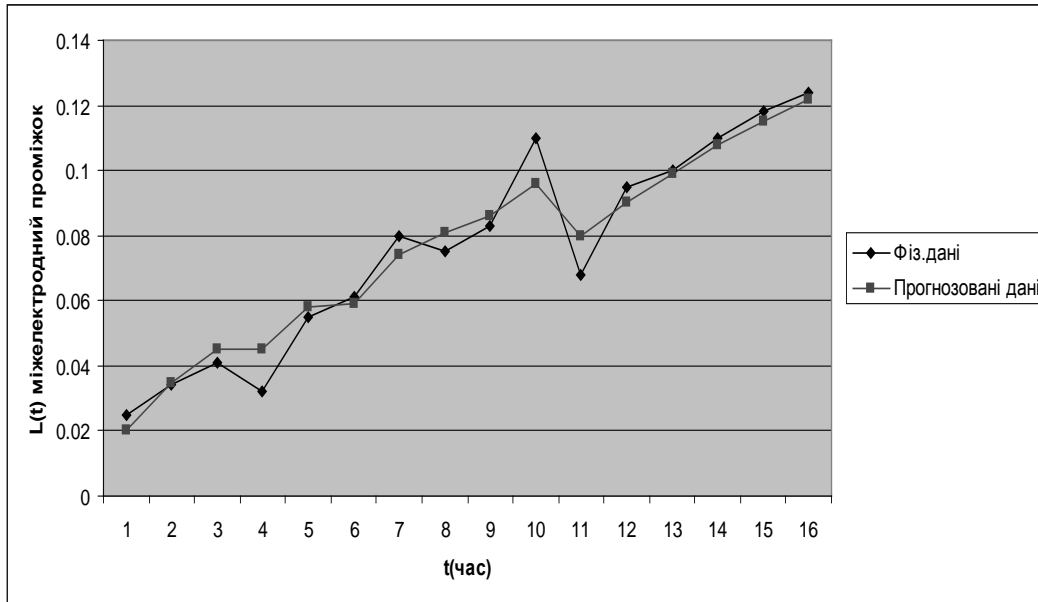


Рис. 1. Графік прогнозованого і фактичного значення міжелектродних проміжків для нейро-нечіткої мережі

Результати випробування реалізованої адаптивної система управління показали, що середня помилка прогнозування становить 1.5 %.

Висновки. Порівняння існуючих систем управління релейного типу та розробленої адаптивної системи показала, що її використання є найбільш ефективним, оскільки дозволяє забезпечувати необхідні режими

роботи в умовах зовнішніх збурень та повністю автоматизувати процес. Розроблений програмний комплекс, порівняно з існуючими установками релейного типу, дозволив підвищити ефективність технологічного процесу на 30 %.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов Ф. С. Нечеткие модели и сети. – М. : Горячая линия. – Телеком, 2007.
2. J.-S. R. Jang, «ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System», IEEE Trans. Systems & Cybernetics, vol. 23, P. 665–685, 1993
3. Круглов В. В, Дли М. И. , Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети – М. : Горячая линия. – Телеком, 2007.
4. Гулый Г. А. Научные основы разрядноимпульсных технологий. Проектно-конструкторское бюро электрогидравлики. – К. : Наукова думка, 1990. – 208 с. – ISBN 5.12.001640.5.
5. Голобородько А. Н. Управление движением источника электроимпульсных воздействий / А. Н. Голобородько, С. С. Козырев, Н. С. Назарова // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2005. – № 49. – С. 119–124.

**А. Н. Голобородько,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЛИТЬЯ НА БАЗЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

*Данная работа посвящена исследованию и разработке адаптивной системы управления установкой электрогидравлической очистки литья (ЕГОЛ), основанной на использовании систем нечеткого логического вывода и нейро-нечетких сетей, для повышения показателей эффективности и стабильности работы. Стратегия и оптимальный выбор функций обсуждались. Результаты моделирования представлены для проверки производительности адаптивного управления.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика; нейро-нечеткие сети; зачистка электрического заряда.

**A. M. Goloborodko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM OF HIGH-VOLTAGE DEVICE FOR CLEANING POURING BASED FUZZY REGULATOR

*This paper presents research and development of adaptive control system of electrical discharge fettling a casting device, which is based on system of fuzzy logic resume and neuro-fuzzy networks usage for indices of effectiveness increasing and consistency of operation. Strategy and optimal track selection subject to an associated cost function are discussed. Simulation results are shown to validate the performance of adaptive control.*

**Key words:** fuzzy logic; neuro-fuzzy network; electrical discharge fettling.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусієнко;**  
к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Голобородько А. М., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 16.09.16*