

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Мета дослідження:

Розробка системи інтелектуальної ідентифікації дефектів плоских поверхонь, що оброблюються в безперервних технологічних процесах, з використанням нечіткого та нейромережевого підходів.

Об'єкт дослідження:

процеси ідентифікації дефектів плоских поверхонь на прикладі поверхні сталевих прокату.

Предмет дослідження:

нейронечіткі моделі та методи інтелектуальної ідентифікації дефектів 2D поверхонь на прикладі технологічного процесу виробництва сталевих прокату за умов поточної невизначеності кількості та характеристик дефектів.

Методи дослідження:

системного аналізу та синтезу, що дозволили визначити місце розробленої системи в структурі загальної системи керування процесом травління смугової сталі; метод кластеризації – дозволив здійснювати поточну ідентифікацію дефектів поверхні прокату; методи теорії штучних нейронних мереж – дозволили запропонувати модель для ідентифікації дефектів смугового прокату в контурах системи інтелектуального керування; методи імітаційного моделювання – дозволили здійснити дослідження та аналіз синтезованої системи, чітко тлумачення результатів, і підтвердити ефективність отриманих результатів та розробити рекомендації щодо їх практичного використання.

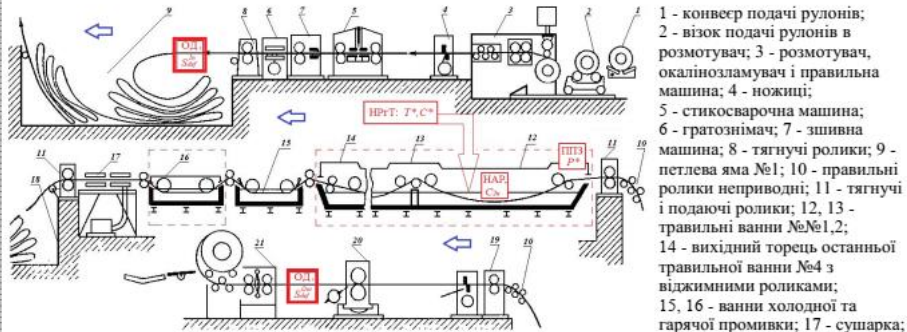
СХЕМА БЕЗПЕРЕРВНОГО ТРАВЛЬНОГО АГРЕГАТУ



Загальний вигляд БТА



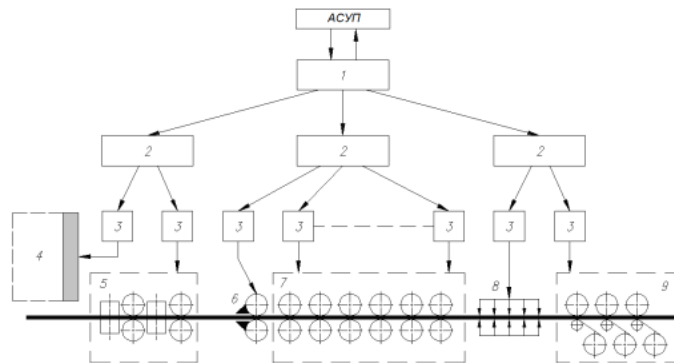
Секція підігріву розчину



Позиції задач вирішених в роботі: ОД – оптичні датчики інтелектуального класифікатора дефектів поверхні прокату

СТРУКТУРНА СХЕМА АСК ТП СТАНУ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

4



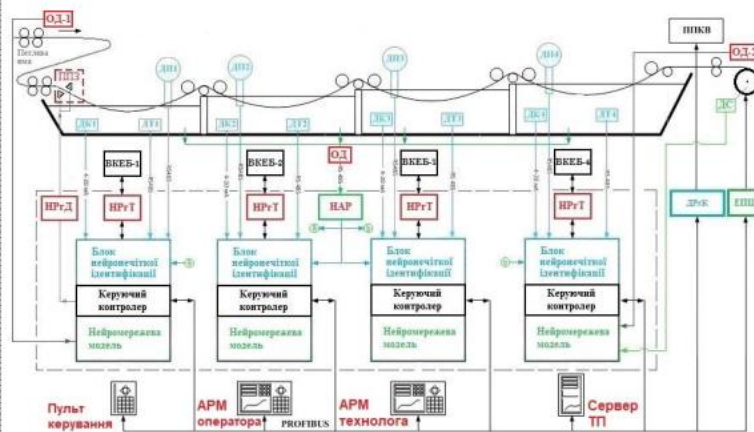
На рис. прийняті наступні позначення: 1 – сервер ТП верхнього рівня (планування та оперативне керування, збір і обробка виробничої інформації, контроль параметрів смуги уздовж лінії стану, формування уставок для локальних систем керування); 2 - мікропроцесорні контролери; 3 - локальні системи керування; 4 - *безперервні травильні агрегати*; 5 - чорнова група клітей; 6 - летючі ножиці; 7 - чистова група клітей; 8 - система охолодження смуги; 9 - моталки.

До недоліків АСК слід віднести відсутність наступних моделей і методів (представлені в даній роботі):

- вхідної / вихідної ідентифікації дефектів листового прокату (та їх реєстрації);
- критеріїв якості обробки прокату в травильних ваннах та оцінювання якості функціонування контурів.

МОДИФІКОВАНА СТРУКТУРНА СХЕМА АСК БТА

5



Скорочення на рис.:

ОД-1, ОД-2 – оптичні датчики нечіткого класифікатора вх/вихідн. дефектів сталевих смуги;

ОД – оптичний датчик нечіткого аналізатора складу розчину (НАР);

ДТ – датчик температури травильного розчину;

ДК – датчики концентрації кислоти;

ДП – датчики щільності травильного розчину;

ППЗ – підсистема попереднього зрощення дефектів;

НРrТ – інтелектуальні нейронні регулятори температури ТР;

ВКЕБ – високоефективний керований енергоблок;

ППКВ – підсистема подачі кислоти та води.

НРrД – нейромережний регулятор тиску подачі ТР в ППЗ;

ДС – датчик швидкості сталевих смуги;

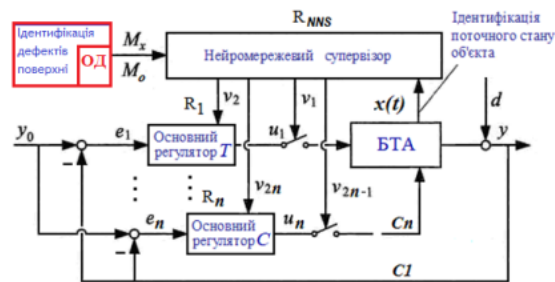
ЕПШ – електропривод регулювання швидкості ходу сталевих смуги;

ДРrК – дозуючий регулятор концентрації кислоти в ТР;

НЕЙРОСУПЕРВІЗОР ОСНОВНИХ КОНТУРІВ КЕРУВАННЯ БТА

6

Стійкість керованої системи додатково забезпечується за рахунок використання нейросупервізора R_{NNS} в допомогу групі основних регуляторів R_n , які здійснюють керування об'єктом по незалежних контурах C_n .



Нейромережвий супервізор забезпечення стійкості ТП в структурній схемі контурів керування БТА

Супервізор відстежує стан і входи ОК: якщо стан системи під впливом обурення d виходить за порогові значення (концентрації H_2SO_4 , мультігідратів в ТР, **дефектів на виході з ТП**) – стан M_x , то він запускає стабілізуючу дію v_2 (освіження / заміна ТР), щоб повернути об'єкт в область допустимих станів M_0 . Якщо результат виконання стабілізуючої дії незадовільний, то сигнал v_1 здійснює відключення вхідного сигналу u_1 .

ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

7

- аналіз сучасних предметної області та існуючих рішень;
- синтез нейромережових моделей, призначених для ідентифікації дефектів поверхні сталевого прокату;
- імітаційне моделювання та експериментальні дослідження режимів роботи інтелектуальної системи керування процесом безперервного травління;
- розробка методу оцінювання якості функціонування технологічної лінії травління прокату;

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ

8

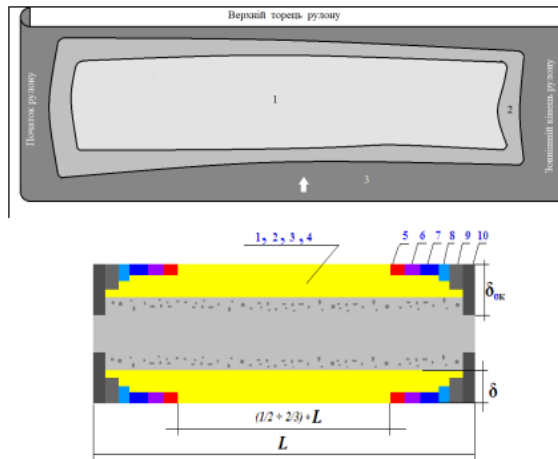


Схема розміщення окалини на гарячекатаній смугі (перетин)

Нумерація позицій (1–10) відповідає значенням n в таблиці 1 товщин оксидних плівок δ_n , представлених у вигляді нечітких LR – інтервалів (D_n, c_n) .

Форма загального розподілу системних дефектів по поверхні рулону:

1 – область утворення оксидних плівок,
2 – область пухкого шару,
3 – область утворення товстого шару щільної окалини, стрілкою зазначено напрям до верхньої частини рулону в період його охолодження.

Таблиця 1.1 – Характеристика оксидних плівок

n	X_n = Колір	$T_{\text{утворення}},$ °C	Товщина оксидної плівки $\delta_n = (D_n, c_n)$	
			D_n	c_n
1	Солом'яний	220	425	35
2	Золотистий	230	495	25
3	Коричневий	240	500	30
4	Червоно-коричневий	250	540	40
5	Пурпурний	260	595	35
6	Фіолетовий	260	660	35
17	Синій	300	690	40
8	Волошковий	немає даних	860	75
9	Темно-сірий		900	80
10	Майже чорний		1200	110

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТОВЩИНИ ДЕФЕКТІВ

9

Атрибути пікселів за компонентою яскравості:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B,$$

де Y - яскравість в відтінках сірого кольору;
 R, G, B - кольорні діапазони $[0 \div 255]$.

Таблиця 1

Колірний класифікатор товщин несистемних дефектів (dot)

n	X_n = Колір дефекту	δ_n , МК	δ_n^m	Y_n	Y_n^m
1	Матовий алюміній	0,1÷0,4	0,25	227÷231	229
2	Блідо-голубий	5÷10	7,5	218÷226	223
3	Світло-сірий	13÷15	14	200÷217	209
4	Сірий	14÷25	19,5	189÷206	198
5	Темно-сірий	24÷36	30	137÷148	142
6	Темно-сірий матовий	38÷32	34	45÷2	67
7	Майже чорний	34÷40	37	3÷39	21

Система, визначена нечіткою продукційною моделлю:

$$Y_k \rightarrow D_k,$$

відкрита, має можливість налаштування еталонів та донавчання у реальному часі. Під час експлуатації база правил доповнюється точковими синглетами (y, δ) та логічними правилами виду

$$R_i: \text{ЯКЩО } (Y = y_i) \text{ ТО } (D = \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Кожному зображенню дефектів (файлу *.JPEG) відповідає кількісна оцінка V_k наявності дефекту k -того кольору, що підраховується за кількістю пікселів площі фрагменту зображення: $V_k = S_k \times B_k(RGB)$, де $B_k(RGB) = \{0;1\}$ – змінна належності пікселя (RGB) кольору до k -го кластеру, S_k – число пікселів, що потрапляють в k -й кластер кольору. Первинні центри кластерів НК (див. табл.1) (y, δ) устанавлюються з усередненими координатами середин нечітких інтервалів Y, δ_n :

$$m_1(0) = (229, 0.25), m_2(0) = (223, 7.5), \dots, m_7(0) = (21, 37.0), \text{ - та моделюються FCM-методом.}$$

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТОВЩИНИ ДЕФЕКТІВ (2)

10

Область визначення параметра δ розділяється на $n = 7$ підобластей-кластерів з центрами-медіанами, що призначаються в середині нечітких інтервалів з відомими характеристиками (Y_n^m, δ_n^m) .

При цьому Y_i^m і Y_{i-1}^m приймаються як центри сусідніх кластерів. Поточне значення $Y(t)=y$ відносять до i -го класу за критерієм мінімуму Евклідової відстані від оцінюваного об'єкта до центру i -го кластера Y_i :

$$MIN(d_{ij}) = \|m_{Y_j} - y\|, \quad j = 1, \dots, n$$

де m_{Y_j} – координата центру кластера щодо осі OX , в просторі X_n ; y – координата об'єкта щодо осі OX , в просторі X_n . Значення $D(y)$ на виході нечіткої моделі, побудованої за допомогою FCM-процедури, об'єднує всі вихідні функції належності та інтерполює $D(Y(t))$. Остаточні центри кластерів устанавлюються з усередненими координатами: $m_1(1) = (25.33, 46.67)$, $m_2(1) = (178, 210.67)$, ..., $m_7(1) = (255.33, 313)$:

$$D(y) = \frac{46.67 \cdot \mu_{Y_1}(y) + 210.67 \cdot \exp\left\{-\frac{(y-178)^2}{664.44}\right\} + \dots + 313 \cdot \exp\left\{-\frac{(y-255.33)^2}{664.44}\right\}}{\mu_{Y_1}(y) + \exp\left\{-\frac{(y-178)^2}{664.44}\right\} + \dots + \exp\left\{-\frac{(y-255.33)^2}{664.44}\right\}},$$

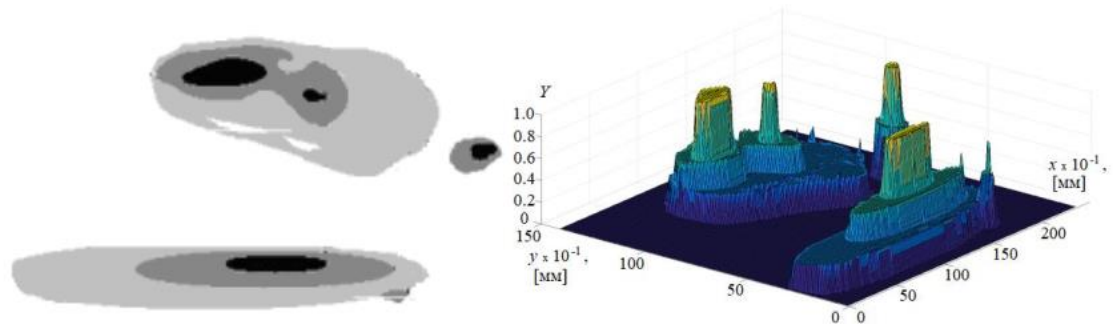
$$\text{де } \mu_{Y_1}(y) = \exp\left\{-\frac{(25.33 - y)^2}{2(50.89 - 42.45\omega)^2}\right\}, \text{ а } \omega = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq y \leq 25.33 \\ 0 & \text{in other cases} \end{cases}, \text{ - асиметрична «половинка»}$$

Гаусіана від «0»

Після цього набирались та моделювались дані з нечітких інтервалів Y_n .

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТОВЩИНИ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ ПРОКАТУ

11

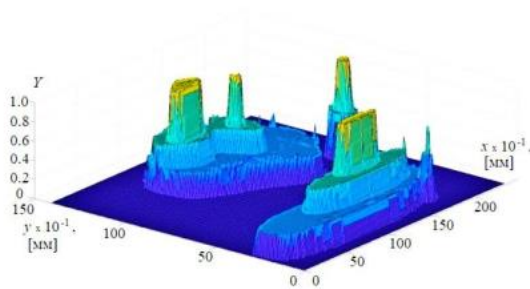


а) Оригінал дефекту (x, y, Y)

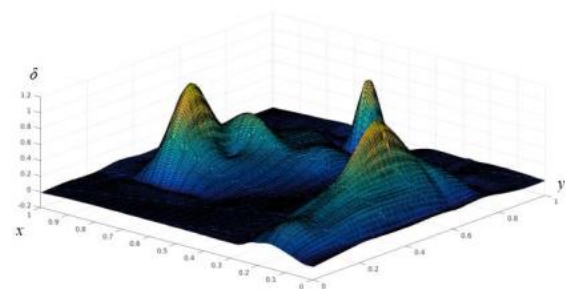
б) Образ дефекту (x, y, Y)

РБМ модель $\delta(x, y, Y(RGB))$ синтезована і налаштована на основі промодельованих та отриманих даних від нечіткого класифікатора. Начальна структура РБМ була прийнята 3-7-1 з центрами Гаусіанів в суттєвих точках Y_n^m .

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТОВЩИНИ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ ПРОКАТУ (2)



а) Образ дефекту (x, y, Y) .



б) Опрацьовано РБМ $\delta(x, y, Y(RGB))$ із структурою 3-28-1

Подання поверхні обробки дефекту

Налаштування мережі здійснювалося на 1200 точках $(x, y, Y(RGB))$, необхідна точність задавалася на рівні $1.5 \cdot 10^{-3}$ рх. Тестування РБМ $\delta_n(x, y, Y)$ із **остаточною структурою 3-28-1** здійснено в пакеті NeuroPh Studio за алгоритмом зворотної помилки.

КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АСК ТП

$$q_I = \frac{\sum S_i^{Out} \delta_i}{\sum S_j^{In} \delta_j}$$

q_I – інтегральний індекс якості очищення поверхні прокату від трьох видів дефектів:

e_{grc} – сірі смугові по краю та e_{col} – кольорові мінливі в середині рулону,

e_{dot} – точкові НД

S – площа ,

δ_i, δ_j – оцінки товщини дефектів по кожному з видів на вході / виході в БТА відповідно.

$S\delta$ – об'єм окалини.

Перевищення регламентованої величини ($q_I \geq q_R$) потребує ретельного аналізу індексу за видами дефектів $q_{grc}, q_{col}, q_{dot}$, – та корекції параметрів керування в відповідних контурах.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

14

Було удосконалено:

– процес ідентифікації дефектів поверхні смугового прокату з використанням нечіткої кластеризації та радіально-базисної мережі, що дозволило автоматизувати контроль якості кінцевого продукту;

– метод оцінювання якості функціонування технологічної лінії травління, який на відміну від існуючих використовує кластеризацію дефектів для оцінки якості функціонування відповідних контурів керування.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

15

Основні результати досліджень доповідались, обговорені і схвалені на конференції "Контроль і управління в складних системах", 2022-11-15, (Vinnytsia):

О. Ілюнін, С. Удовенко, М. Ходак, О. Юрченко, О. Сапега, Інтелектуальна ідентифікація дефектів металопрокату з застосуванням технологій «комп'ютерного зору». Україна, Вінниця, конференція КУСС-2022. URL: <<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mccs/mccs22/index>>.

За результатами дисертаційних досліджень опублікована 1 стаття в фаховому виданні України з технічних наук: Ilyunin O.O., Khodak M.V., Yurchenko O.V., Sapaha O.A. Fuzzy estimation procedure of the concentration of the components of a sulfuric acid pickling solution. ISSN 2078-0625 (online). Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – № 3, с.63-75. Фахове видання.

ВИСНОВКИ

1. Здійснений аналіз літератури показав, що технологічний процес травління смугової сталі, може бути віднесено до класу об'єктів інтелектуального керування. Обґрунтовано доцільність використання нейромережових та нейронечітких моделей для ідентифікації дефектів поверхні прокату.
2. Вдосконалено процес ідентифікації вхідних / вихідних дефектів поверхні прокату з використанням нечіткої кластеризації, що дозволило автоматизувати контроль якості готової продукції. Отримано РБМ модель нечіткої кластеризації дефектів.
3. Проведене імітаційне моделювання та тестовий експеримент роботи системи інтелектуальної ідентифікації дефектів поверхні сталевого прокату показали життєпридатність системи.
4. Вдосконалено метод оцінювання якості функціонування ділянок технологічного процесу, який на відміну від існуючих використовує кластеризацію залишків дефектів поверхні прокату на виході процесу та оцінки системи інтелектуальної ідентифікації дефектів плоских поверхонь.



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
VINNYTSIA NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY



CERTIFICATE

issued to

Олександр Юрченко

who passed an advanced training courses
in the Department of Computer Systems and Automation
of the Vinnytsia National Technical University
from November 15 till November 17, 2022
on the following directions:

- Theoretical foundations of measurement and control;
- Promising methods, software and hardware of measurement and control systems;
- Measurement and control in different areas;
- Control and measurement in energetics;
- Intelligent technologies in control systems.

Total amount of 30 hours (1 credit ECTS)

Rector

Vinnytsia, Ukraine



Victor BILICHENKO

November 17, 2022