УДК 621.952

Стрельцов О. В.,
канд. техн. наук, доцент,
ovstreltsov@gmail.com
Качур О. М.,
магістр,
Одеський національний
політехнічний університет,
м. Одеса, Україна,
kachur_sasha@mail.ru

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СВЕРДЛІННЯ

Більшість із сучасних свердлильних верстатів не здатні свердлити композитні матеріали (КМ)в автоматичному режимі зберігаючи свердла від поломки. Запропонований ефективний самонавчальний алгоритм здатен керувати комплексом апаратних пристроїв з мінімізацією поломки свердел та відрізняється простотою та адаптивністю.

***Ключові слова**: свердління; машинне навчання; робототехнічні комплекси; композитні матеріали.*

Штучний інтелект є одним з найсучасніших напрямків розвитку науки та технології [1]. На даному етапі розвитку штучного інтелекту розроблено багато алгоритмів машинного навчання, які здатні виконувати складні підрахунки та самостійно приймати рішення в будь-якій сфері діяльності людства [2]. Широке застосування методів машинного навчання показує їх користь та ефективність для автоматизації промислових процесів. Не є винятком і процес автоматизації свердління.

Існують різноманітні робототехнічні комплекси, які здатні виконувати різні виробничі функції, наприклад свердління [3, 4, 5], але головним недоліком є їх запрограмованість на роботу в заданих умовах із певними матеріалами. Такі комплекси мало пристосовані до непередбачених обставин, які, наприклад, виникають при обробці композитних (неоднорідних) матеріалів. Такі матеріали потребують, як правило, особливих режимів свердління[6].

Існують різноманітні методи немеханічної обробки матеріалів, але вони мають ряд обмежень. Електрохімічна обробка може бути застосована для обробки тих матеріалів, які проводять електричний струм [7]. Серед КМ деякі є діелектриками, тому дана задача зазначеними методами не вирішується.

При лазерній обробці може спостерігатися явище деструкції полімерів – руйнування в зоні обробки структури, викликане розкладанням макромолекул під дією тепла, що є технологічним браком.

Найголовніша причина обмеженого застосування немеханічних методів формоутворення отворів, таких як гідравлічна, струменева або електрофізична обробка, полягає в тому, що деякі деталі представляють багатошарову порожнисту конструкцію, зовнішню стінку якої необхідно зберегти цілими, тобто не допускається свердління наскрізь.

Задача автоматизації свердління композитних матеріалів потребує використання методів машинного навчання для впровадження якого виникає необхідність розробки ефективного самонавчального алгоритму, що здатен керувати комплексом апаратних пристроїв, при цьому мінімізуючи поломку свердел.

Існує декілька способів машинного навчання. Найбільш поширений випадок - навчання з учителем. Для кожного прецеденту при використанні цього способу задається і об’єкт, і відповідь. Передбачається, що алгоритм повинен його мінімізувати. У разі навчання без вчителя, для кожного прецеденту задається тільки об’єкт. При навчанні з підкріпленням роль об’єктів грають пари «ситуація - прийняте рішення» [9,10]. Відповідями є значення функціоналу якості, що характеризує правильність прийнятих рішень (реакцію середовища). Даний підхід використовується при самонавчанні роботів. Активне навчання відрізняється тим, що учень-алгоритм має можливість самостійно призначати наступний об’єкт, на якому стане відома правильна відповідь.

Запропонована реалізація машинного навчання свердлувального робота виконана з використанням електронного стробоскопічного тахометра (вимірює швидкість обертання свердла), лазерного датчика температури (вимірює температуру нагрівання свердла), лазерного датчика відстані (вимірює дистанцію поглиблення свердла в матеріал) та плати керування (ПК)(аналіз даних з датчиків; занесення, зберігання та використання інформації в базі даних).

Після під’єднання обладнання до свердлильного верстата та вмикання живлення, відбувається ініціалі-

зація пристроїв, яка необхідна для того, щоб перевірити під'єднання та справність всіх систем керування. Після ініціалізації у користувача є вибір: розширити базу даних (контрольних параметрів) чи почати працювати з вже існуючою. Якщо користувач обрав розширення бази, то система перемикається на ручний режим, у ході якого вона аналізує та записує у пам'ять усю необхідну інформацію, тим самим буде працювати по системі «навчання з учителем».

Алгоритм роботи програми розширення бази даних зображений на рис. 1.

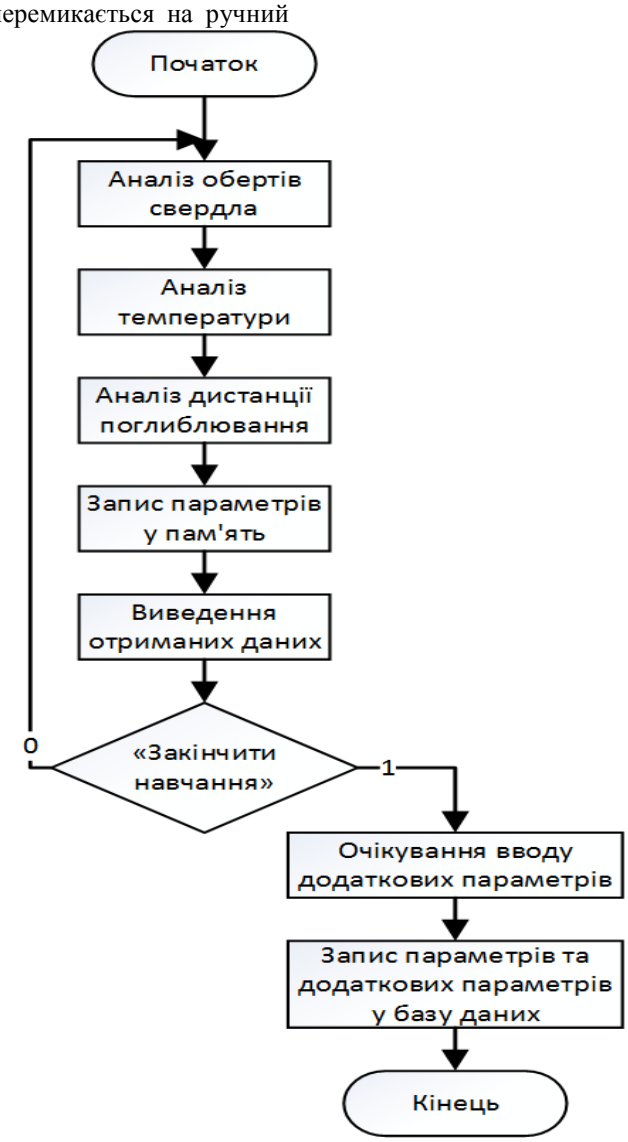

Рис. 1. Алгоритм програми «розширення бази даних»

У режимі розширення людина-експерт виконує усі кроки сама, при цьому програма не втручається, а лише аналізує показники з різних датчиків. Наприклад, потрібно просвердлити багато отворів в різних місцях одного і того ж самого композиту (чи схожих за властивостями). Для цього оптимальніше буде обрати «розширення бази даних».Майстер свердлить лише декілька отворів, після чого перемикає програму в режим «свердління» і може бути впевнений, що інші отвори будуть виконані таким самим чином, як якби він робив би це сам.

Програма аналізує такі дані як: обороти свердла, поточна температура, швидкість його поглиблення в матеріал. Усі дані записуються у пам'ять і виводяться на дисплей до тих пір, поки майстер не вирішить закінчити навчання. Після цього, майстер вводить додаткові параметри, такі як назва свердла та його діаметр. Це необхідно для того, щоб можна було впорядкувати дані та аналізувати лише ті, які необхідні в даний момент часу.

Оскільки не можливо заздалегідь передбачити усі ситуації, та це і не потрібно, то для прогнозування оптимальних рішень використовується алгоритм навчання багатошарової нейронної мережі методом зворотного поширення помилки[11, с. 290–296].

На рис. 2. зображена багатошарова нейронна мережа з одним шаром прихованих нейронів.

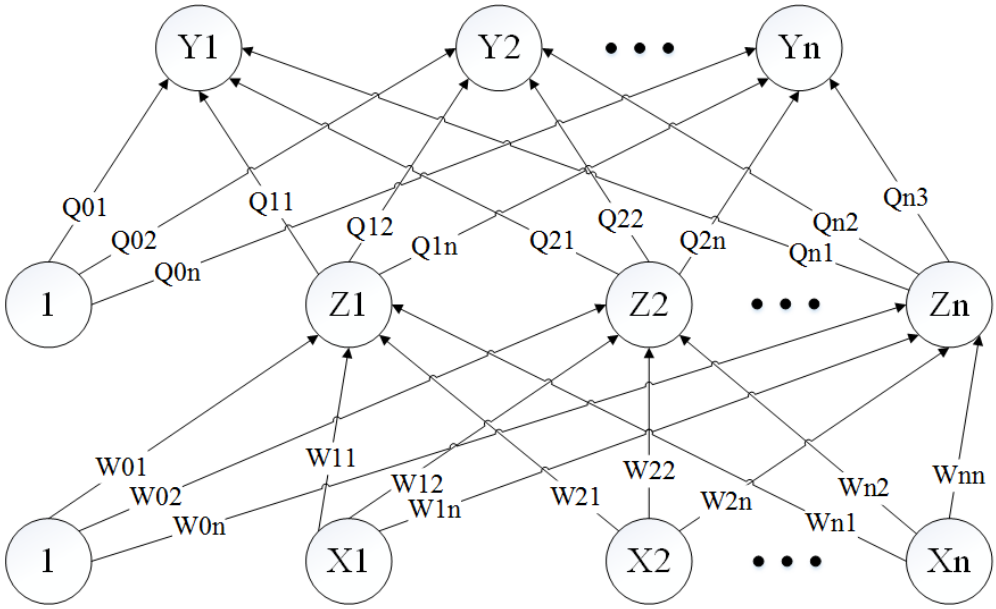

Рис. 2. Мережа з зворотнім поширенням помилки з одним прихованим шаром

Нейрони, що представляють собою виходи мережі (позначені Y), і приховані нейрони(позначені Z) можуть мати зміщення. Зсув, відповідний виходуY_2 позначенийQ_{02}, прихованого елементу $Z_2 - W_{02}$. Ці зміщення служать в якості ваг на зв'язках, що виходять від нейронів, на виході яких завжди з'являється 1. Крім того, на рис.2 стрілками показано переміщення інформації в ході фази поширення даних від входів до виходів. У процесі навчання сигнали поширюються в зворотному напрямку.

Даний метод дозволяє розпочати процес навчання нейронної мережі при наявності «вчителя», тобто процес навчання відбувається шляхом надання мережі послідовності навчальних прикладів з правильними відповідями. Навчання мережі методом зворотного поширення помилки включає в себе три етапи: подачу на вхід даних, з подальшим поширенням даних в напрямку виходів, обчислення і зворотне поширення відповідної помилки і коригування ваг (враховує помилки). В ході першого етапу кожен вхідний нейрон отримує сигнал і широкомовно транслює його кожному з прихованих нейронів. Кожен прихований нейрон обчислює результат його активаційної функції (мережеві функції) і розсилає свій сигнал всім вихідним нейронам. Кожен вихідний нейрон, в свою чергу, обчислює результат своєї активаційної функції, який являє собою ніщо інше, як вихідний сигнал даного нейрона для відповідних вхідних даних. У процесі навчання, кожен нейрон на виході мережі порівнює обчислене значення з наданим вчителем (цільовим значенням), визначаючи відповідне значення помилки для даного вхідного шаблону. На підставі цієї помилки обчислюється складова коригування ваг зв'язків, яка використовується при розповсюдженні помилки від до всіх елементів мережі попереднього шару, а також пізніше при зміні ваг зв'язків між вихідними нейронами і прихованими. Аналогічним чином обчислення виконуються для кожного прихованого нейрона. Після того як всі були визначені, відбувається одночасне коригування ваг всіх зв'язків.

Це дозволяє прогнозувати найкращі рішення (параметри) на підставі вже існуючої інформації, тобто з кожним послідуючим свердлінням база даних розширюється (навіть не в режимі навчання), що розширює можливості, збільшує точність та зменшує поломку свердел.

Один з результатів навчання наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

База даних з результатами навчання

№	Назва свердла	Діаметр (мм)	Діапазон			Кількість свердлінь (разів)	Кількість поломок (%)
			Робоча темпер. (°C)	Оберти (об/хв)	Швидк. поглиб. (см/хв)		
1	Дерево М5	5	63-67	1413-1523	48-53	78	1,28
2	Дерево М5	5	68-71	1413-1523	48-53	53	1,88
3	Дерево М5	5	63-67	1303-1412	46-51	161	1,24
4	Дерево М5	5	63-67	1103-1302	40-43	113	0,88

Групування в базі даних проводиться за призначенням свердла та його діаметром, після чого відбувається групування результатів у діапазони, ширина яких визначається за формулою (1).

$V_{діап} = (V_{макс} - V_{мін})/К_{об}$, (1)

де $V_{діап}$ *– діапазон швидкості обертівсвердла,* об/хв.;

$V_{макс}$ *– максимальна швидкість обертів,*об/хв.;

$V_{мін}$ *– мінімальна швидкість обертів,* об/хв.;

$К_{об}$ *– коефіцієнтширини діапазону швидкості обертів.*

Аналогічно визначається діапазон групування температур(2).

$Т_{діап} = (Т_{макс} - Т_{мін})/К_{темп}$, (2)

де $Т_{діап}$ *– діапазон температури свердла,* об/хв.;

$Т_{макс}$ *– максимальна температура,* об/хв.;

$Т_{мін}$ *– мінімальна температура,* об/хв.;

$К_{темп}$ *– коефіцієнтширини діапазону температури.*

Початковий вибір свердла та бази навчання залежить від експерта. Після завершення ініціалізації приладу, свердло починає працювати, при цьому уся інформація з датчиків (температура, швидкість обертів та глибина поглиблення відображається на дисплеї. Якщо свердло починає нагріватись і досягає максимальної температури в тому діапазоні, в якому воно знаходиться, то алгоритм навчання багатошарової нейронної мережі методом зворотного поширення помилки знаходить наступні параметри з урахуванням відсотка поломок свердел. Оскільки алгоритм навчання не досконалий, то значення відсотка поломок відображається на дисплеї, що дозволяє оператору припинити свердлення в разі не оптимального прийняття рішення.

Коли закінчиться перший шар і свердло дійде до другого, який, наприклад, товстіший та твердіший, алгоритмзнову змінить параметри свердлення. Як тільки свердло досягне більш твердого шару, перестане поглиблюватись та почне грітися, свердління автоматично зупиниться, проаналізує базу даних та визначить назву свердла яке більше підходить для продовження. Свердління закінчиться, коли датчик відстані зареєструє, що свердло поглибилося на необхідну відстань, інформацію про яку можна побачити також на дисплеї.

Тестування алгоритму виявило, що його тривале використання експертом (який проводив навчання) зменшило поломку свердел приблизно на 3,2 %. Для об’єктивності експерименту,тестування також проводили інші експерти і звичайні люди. Результати дуже відрізняються один від одного, оскільки сильно впливає людський фактор, алекількість свердел, які були поломані в кожному випадку – зменшилась.

Проведене дослідження доводить, що застосування методів машинного навчання для автоматизації свердління композитних матеріалів з використанням нейронних мереж дозволяє зменшити поломку свердел, а також автоматизувати та прискорити роботу станків шляхом накопичення інформації та використання її повторно. Подальші дослідження мають наукову та практичну цінність з метою розвитку та вдосконалення методу додаванням інших умов до моделі та ускладненням підрахунків, аналізуючи ще більшу кількість параметрів, таких як вплив деформації гнучких тіл на процес свердлення, що може давати похибку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006.
2. Домингос П. Верховный алгоритм: как машинное обучение изменит наш мир – «Манн, Иванов и Фербер» / П. Домингос. – 2015.
3. Stefanos Nikolaidis, KerenGu, RamyaRamakrishnan, and Julie Shah., «Efficient Model Learning for Human-Robot Collaborative Tasks». Portland, Oregon, USA.,03/2015.
4. Tomas Olsson, Mathias Haage, HenrikKihlman, Rolf Johansson, Klas Nilsson, «Cost-efficient drilling using industrial robots with high-bandwidth force feedback»., Pergamon Press, Inc. Tarrytown, NY, USA., 02/2010.
5. Gray T., Orf D., and Adams G. Mobile Automated Robotic Drilling, Inspection, and Fastening. – SAE Technical Paper 2013-01-2338. – 2013.
6. Мелентьев Р. Ю., Натальчишин В. В. Особенности сверления углепластиков, Одес. нац. политехн. ун-т, 2014.
7. Балыков А. В. Адаптивное управление алмазным сверлением неметаллических материалов / А. В. Балыков, Ю. П. Сердобинцев, Л. С. Листунов // Стекло и керамика. – 2007.
8. Золотых Н. Ю. Машинное обучение и анализ данных : [презентация] / Н. Ю. Золотых– 2008.
9. X. Zhu. «Semi-supervised learning literature survey», Technical Report 1530, Computer Sciences, University of Wisconsin-Madison, 09/2005.
10. Гібридні методи машинного навчання в системах керування динамічними об’єктами / А. О. Гришко, С. Г. Удовенко, Л. Е. Чала // Біоніка інтелекту : наук.-техн. журнал. – 2012. – № 1 (78). – С. 78-84.
11. Laurene V. Fausett «Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications», USA, 1994. – 476 p.

О. В. Стрельцов,
А. М. Качур,
Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ СВЕРЛЕНИЯ

Большинство из современных сверлильных станков не способны сверлить композитные материалы (КМ) в автоматическом режиме сохраняя сверла от поломки. Предложенный эффективный самообучаемый алгоритм способен управлять комплексом аппаратных устройств с минимизацией поломки сверл и отличается простотой и адаптивностью.

Ключевые слова: *сверление; машинное обучение; робототехнические комплексы; композитные материалы.*

O. V. Streltsov,
A. M. Kachur,
Odessa National Polytechnic University,
Odessa, Ukraine

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN DRILLING AUTOMATION TASKS

Most modern drilling machines are not able to drill composite materials (CM) automatically with preservation a drill against breakages. The proposed effective learning algorithm is able to manage complex hardware devices while minimizing damage to drills and differs simplicity and adaptability.

Key words: *drilling; machine learning; robotics systems; composite materials.*

Рецензенти: д. т. н., проф. ***М. Т. Фісун;***
д. т. н., проф. ***А. Н. Хомченко.***

© Стрельцов О. В., Качур О. М., 2016

Дата надходження статті до редколегії 09.11.16