

УДК 004.048

Тільняк Ю.Я.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Корнага Я.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

У статті розглянуті основні механізми і принципи роботи сучасної технічної діагностики автомобілів. Проаналізовано можливості уникнення основних недоліків, що виникають під час діагностики й експлуатації самохідного колісного транспортного засобу. Доведено необхідність впровадження нових технологій для планування і підвищення ефективності технічної експлуатації з описом побудови експертної системи на основі технології з використанням можливостей нейронних мереж як інструменту практичного вирішення прикладних завдань в області діагностування і прогнозування працездатності самохідного колісного транспортного засобу. Обґрунтовано важливість підвищення якості аналізу діагностичної інформації шляхом впровадження штучних нейронних мереж до програми блоку управління.

Ключові слова: самохідний колісний транспортний засіб, динамічні навантаження, система технічної діагностики, штучні нейронні мережі, електронний блок керування.

Постановка проблеми. Всі сучасні електронні системи управління, розроблені для управління самохідним колісним транспортним засобом (далі – СКТЗ), обладнані системою самодіагностики, створеною, щоб інформувати водія про несправності. У процесі роботи двигуна на різних режимах (запуск двигуна, прогрів, розгін і гальмування, холостий хід) безперервно йде зчитування показань декількох десятків датчиків. У цей час реєструються як дискретні сигнали, так і динамічні.

СКТЗ – це сукупність як простих, так і досить складних елементів, і, хоча більшість помилок виникає через з'єднання (роз'єми), які просто забули з'єднати під час поточного ремонту, або через пошкодження електропроводки, іноді виникають ситуації, що вимагають детальної діагностики за різних умов роботи двигуна для встановлення точної причини виникнення помилки.

Сигнал про помилку системою діагностики кодується і зберігається в довготривалій пам'яті для подальшої розшифровки фахівцем на станції технічного обслуговування (СТО), який, підключившись до наявного на блоці управління роз'єму, зчитує наявні помилки і після розшифровки приймає рішення про подальші дії.

Комп'ютерна діагностика служить для визначення стану СКТЗ і полегшення пошуку несправності, не будучи власне ремонтом СКТЗ. У деяких очевидних випадках на старих СКТЗ, що не обладнані системою діагностики, можна було обійтися без комп'ютерної діагностики, але сьогодні без цієї операції визначення стану систем СКТЗ стає неможливим. Витрачаючи ресурс на повну діагностику, ви будете точно проінформовані про стан вашого СКТЗ на цей момент, але це не дозволить планувати витрати на підтримку авто у справному стані й уникнути непередбачуваних матеріальних витрат у разі наступної помилки.

Аналіз роботи систем діагностики технічного стану СКТЗ виявив ряд недоліків. По-перше, ці системи не враховують динамічного навантаження на робочі органи СКТЗ. По-друге, у розглянутих системах діагностики не виконується одна з головних задач технічного діагностування – прогнозування технічного стану СКТЗ.

Ці недоліки можуть бути усунені, якщо в режимі реального часу, за даними поточних вимірювань критичних параметрів, ідентифікувати динамічні навантаження, відповідні їм динамічні режими роботи і технічний стан СКТЗ. За допомогою експертної бази даних, у якій набрана статистика про

діючі навантаження, а також напрацювання та залишковий ресурс автомобіля і його систем, можна здійснювати прогнозування технічного стану СКТЗ. Ці завдання можуть бути вирішені за рахунок виконання штучних нейронних мереж.

Постановка завдання. На сьогодні, незважаючи на те, що в процесі експлуатації СКТЗ піддається зовнішнім і внутрішнім впливам, які призводять до зміни параметрів технічного засобу в цілому і його окремих елементів, а також на наявність жорстких вимог до надійності, діагностика СКТЗ носить лише фрагментарний і періодичний характер.

Під час проведення діагностування СКТЗ проводяться вимірювання понад тридцять параметрів. Суттєвим є те, що всі вимірювання проводяться в статичному або в динамічному режимі з використанням спеціальних стендів. В умовах реальної експлуатації дорожньої техніки динамічні режими роботи і навантаження відрізнятимуться від стендових. Внаслідок цього виміряні характеристики не будуть достовірними, і за ними не можна прийняти рішення про відповідність параметрів вузлів і систем СКТЗ встановленим технічними вимогам [8, с. 270–271].

Існуючі системи не спираються на машинне навчання і спроможні лише сповіщати про наявність помилки в блоках управління чи механічних елементах. За рахунок використання штучної нейронної мережі сервіс здатний визначити, коли саме несправність стане критичною. Система зможе вказати часовий інтервал, протягом якого це все відбудеться [3, с. 119–126]. Таким чином, актуальною є задача оцінки і прогнозування технічного стану СКТЗ у процесі виконання ним технологічних операцій, тобто в динаміці його роботи.

Метою статті є розробка системи з використанням штучних нейронних мереж у системах технічної діагностики СКТЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Нечіткі нейронні мережі в технічній діагностиці транспортного засобу.* Аналіз сучасних діагностичних систем СКТЗ свідчить, що існує об'єктивна науково-технічна проблема створення комплексних систем діагностування, побудованих на універсальних принципах, що забезпечують високий рівень достовірності постановки діагнозу, і перспективних щодо масової реалізації як у стаціонарних стендах, так і в системах бортового діагностування. Проектування систем діагностування вимагає створення алгоритму діагнозу і визначення нормативів. Традиційні підходи реалізують ці два етапи окремо, що є їх істотним недоліком. Проте в медицині, економіці досить успішно застосовують діагностичні та ек-

пертні системи на основі інтелектуальних методів, таких як нечітка логіка і нейронні мережі.

Широко застосовують системи на базі «м'яких обчислень» – «нечіткої логіки». «М'які обчислення» розглядаються як сукупність обчислювальних методологій, які колективно забезпечують основи для розуміння, конструювання та розвитку інтелектуальних діагностичних систем. У цій сукупності основними компонентами «м'яких обчислень» є нечітка логіка, нейрообчислення, генетичні алгоритми та ймовірні обчислення.

Недолік їх застосування полягає в конструктивно закладеній залежності ефективності системи діагностики від розмірності набору контрольованих параметрів. Система діагностики повинна володіти повнотою, тобто необхідно, щоб для кожного можливого варіанту значень набору контрольованих параметрів існувало відповідне правило. Це означає, що, якщо кожен параметр може прийняти одне з m можливих значень, то загальне число продукційних правил дорівнюватиме $N = m^n$ і швидко зросте зі збільшенням m і n . Також нечітка логіка ефективна за наявності знань у експерта про вплив факторів на цільову функцію, а також невисоких вимог до точності системи [2, с. 11–15].

Внаслідок цих обмежень дані технології знаходять застосування в технічній діагностиці. Для успішного застосування нечіткої логіки її необхідно розглядати в сукупності з нейронними системами. Одна з особливостей нейронних мереж, що уможливує їх застосування під час діагностування та прогнозування відмов систем СКТЗ, – це здатність до навчання і узагальнення накопичувальних знань. Нейронна мережа має риси штучного інтелекту; натренована на обмеженій множині даних, мережа здатна узагальнювати отриману інформацію і показувати хороші результати на даних, що не використовувалися в процесі навчання [5, с. 68–71]. Характерна особливість мережі полягає в можливості її реалізації із застосуванням технології надвеликого ступеня інтеграції. Штучні нейронні мережі в задачах прогнозування та діагностування об'єкта можуть бути використані в якості підсистеми вибірки і прийняття рішень, що передає діагностичну інформацію інших підсистем (наприклад, автоматизованої паспортної системи управління технологічним процесом) з іншою методологічною основою побудови [1, с. 111–117].

Складність завдання прогнозування відмов систем і елементів СКТЗ зумовлене неможливістю чіткої постановки відповідності змін вхідних і вихідних параметрів, у яких перебуває або до яких прагне об'єкт діагностування. Зокрема, не можна

однозначно визначити всі відмови або стан деталі, за якого значення хоча б одного спеціального параметра характеризує наближення деталі СКТЗ до відмови. Можна виділити безліч станів об'єкта діагностування і спробувати оцінити ступінь впливу кожного інформаційного параметра на ймовірність переходу об'єкта в будь-який із можливих станів. Тому для діагностування необхідно використовувати метод підбору вагових коефіцієнтів – міжнейронних зв'язків на основі навчання і штучних нейронних мереж, функціонування яких засноване на принципах нечіткої логіки, які застосовують для адаптації параметрів методики навчання, так і на основі самоорганізації.

Найважливіша властивість штучних нейронних мереж свідчить про їх великий потенціал у галузі прогнозування відмов і в можливості паралельної обробки інформації усіма нейронами. Завдяки цій здатності, за великої кількості міжнейронних зв'язків, досягається одночасно обробка значного обсягу даних, до яких надходить вимірювальна інформація в реальному масштабі часу [6, с. 104].

У завданнях діагностування і прогнозування нечітка нейронна мережа грає роль універсального апроксиматора функції від декількох змінних, реалізуючи нелінійну функцію

$$Y = F(X),$$

де $\{X(t)\} = \{X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots, X_n(t)\}$ – вектори вхідної інформації (поточні виміряні значення діагностичних параметрів);

Y – реалізація векторної функції декількох змінних.

Постановка багатьох завдань діагностування та прогнозування технічного стану об'єкта може бути зведена саме до апроксимаційного подання [4, с. 179–185].

Однією з простих моделей для встановлення діагностичної інформації можуть служити статичні моделі, погоджуючі критерії, що оцінюють стан об'єкта діагностування, з відхиленнями реальних показників можуть відрізнятися у вигляді регресійної моделі дефектів:

$$\begin{cases} \delta A = W_{a1} \times X_1 + W_{a2} \times X_2 + \dots + W_{an} \times X_n \\ \delta B = W_{b1} \times X_1 + W_{b2} \times X_2 + \dots + W_{bn} \times X_n \end{cases}$$

де $W_{a1}, W_{a2}, \dots, W_{an}, W_{b1}, W_{b2}, \dots, W_{bn}$ – коефіцієнт впливу (ваговий коефіцієнт).

Таблицю вагових коефіцієнтів W для кожного конкретного значення X і називають діагностичною матрицею. Необхідно також вирішити питання про оптимальні числові реальні показники, які можуть відрізнятися. З одного боку, чим більше число вимі-

рюваних параметрів, тим вірогідніше визначається технічний стан об'єкта діагностування, і тим більша складність і собівартість системи діагностики в цілому. Таким чином, слід вибирати параметри, які найбільш повно характеризують технічний стан СКТЗ у процесі його експлуатації.

Локалізація дефектів за допомогою діагностичної матриці подібна до роботи системи нейронів, яка отримала назву «персептрон».

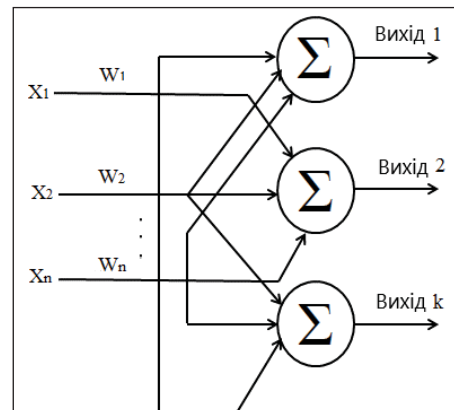


Рис. 1. Одношаровий персептрон з n входами і k виходами

Кожен нейрон модифікує обчислювальну суму за допомогою активаційної функції у вигляді сигналу наявності або відсутності якої-небудь відмови, або значення хоча б одного спеціального параметра, що характеризує наближення деталі СКТЗ до відмови, а, у разі застосування більш структурованих штучних нейронних мереж, вихідним сигналом може слугувати коефіцієнт ваги нейронної мережі вищого рівня – ймовірність перебування об'єкта діагностування в робочих, граничних, критичних, неробочих станах. Після пред'явлення вхідних сигналів разом із відомим виходом нейронні мережі можуть самостійно налаштовуватися (навчатися) під конкретний об'єкт діагностування для отримання необхідної реакції. Однак організація процесу навчання в кожному конкретному випадку – це складна проблема, яка потребує ретельної обробки [7, с. 124].

Безліч контрольних точок СКТЗ, у якому знімаються його характеристики в різних режимах роботи, може вважатися вектором x (кожен вектор відповідає певному динамічному режиму роботи), що подається на вхід мережі. Залежно від умов роботи, виду несправного елемента і ступеня пошкодження, виходять різні характеристики однієї і тієї ж системи несправності СКТЗ. Як правило, несправність кожного виду пов'язана зі специфічною зміною характеристик автомобіля, властивим тільки цій несправності. Нейрон, який перемагає в конкуренції за певної

комбінації характеристик, представляє згодом або нормальний режим роботи, або певну несправність, дозволяючи тим самим локалізувати її.

Типова схема виявлення несправностей представлена на рис. 2.

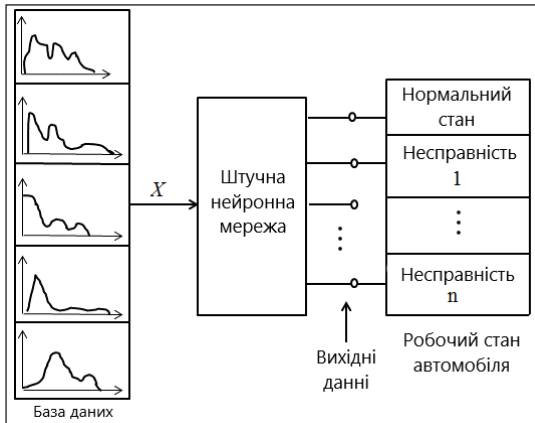


Рис. 2. Схема застосування штучної нейронної мережі для виявлення несправностей у СКТЗ

База даних складається з безлічі характеристик, що відповідають різним нормальним і граничним станам у певних режимах роботи, у яких, як правило, пристрій піддається діагностуванню. Головна умова коректного функціонування системи – диференціація характеристик у різних граничних станах. Якщо дві різні несправності мають ідентичні ознаки, їх розрізнення буде неможливим. Підготовка відповідної бази даних, за якою проводиться навчання, а надалі – й експлуатація нечіткої нейронної мережі (власне діагностування несправностей), вимагають проведення таких вимірювань, які однозначно свідчитимуть про фактичний стан СКТЗ. Слід виділити ті фрагменти характеристик, які відрізняються один від одного. Для досягнення цієї мети можуть виконуватися будь-які операції (як лінійні, так і нелінійні) на всій базі даних.

Навчальна вибірка для нейронної мережі під час автомобільної діагностики. Розмір нейронної мережі визначається на основі даних ЕБК та несправностей двигуна СКТЗ. Згідно з попереднім аналізом, виділено нейронну мережу, в якій 17 вузлів і 4 вузли вихідного рівня.

Маємо недостатню кількість вузлів вхідного рівня, що не може належним чином тренувати мережу і визначити раніше досліджені зразки; водночас, велика кількість вузлів потребуватиме більше часу для навчання [10, с. 70–74]. Тому в прихованому шарі маємо оптимальну кількість вузлів. Кількість вузлів прихованого шару потрібно вказувати згідно з рівнянням:

$$n_2 = \sqrt{n_1 + n_3} + a.$$

Таблиця 1

Вісім навчальних зразків несправності на основі даних ЕБК для нейронної мережі експертної системи діагностики СКТЗ несправностей

Зразок	1	2	3	4	5	6	7	8
x ₁	1	0	1	0	0	0	0	0
x ₂	0	1	1	1	0	0	0	0
x ₃	0	0	1	1	1	1	1	1
x ₄	0	0	0	0	0	0	0	1
x ₅	0	0	0	0	1	1	0	0
x ₆	0	0	0	0	0	1	0	1
x ₇	0	0	0	1	0	1	0	0
x ₈	0	0	1	1	0	0	0	0
x ₉	0	0	0	0	0	0	0	1
x ₁₀	0	0	0	0	1	1	0	1
x ₁₁	0	0	0	0	1	1	1	1
x ₁₂	1	0	0	0	0	0	0	0
x ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	1
x ₁₄	1	1	0	0	0	0	0	0
x ₁₅	0	0	0	0	0	0	1	1
x ₁₆	0	0	1	1	0	0	0	0
x ₁₇	1	1	0	0	1	1	0	0

x_i (i = 1, 2, ..., 17) вказує на несправність явища за ненормальної роботи двигуна

Таблиця 2

Вісім вихідних навчальних зразків ненормальних даних двигуна для експертної системи діагностики несправностей СКТЗ нейронної мережі ВР

Вихідні дані	1	2	3	4	5	6	7	8
y ₁	1	1	0	0	0	0	0	0
y ₂	0	0	1	0	0	0	0	0
y ₃	0	0	0	1	1	1	0	0
y ₄	0	0	0	0	0	0	1	1

y_i (i = 1, 2, 3, 4) вказує на позаштатну роботу двигуна

Таблиця 3

Вихідні дані нейронної мережі у разі введення навчальних зразків

Вихідні дані	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
1	1.0009	-0.0004	-0.0011	0.0013
2	1.0010	-0.0028	-0.0005	-0.0011
3	-0.0013	0.9976	0.0019	-0.0011
4	0.0008	1.0012	-0.0027	0.0004
5	0.0030	-0.0079	0.9956	-0.0039
6	-0.0067	0.0071	0.9992	0.0027
7	-0.0081	0.0149	-0.0040	1.0062
8	0.0079	-0.0171	0.0023	0.9950

y_i ($i = 1, 2, 3, 4$) вказує на позаштатну роботу двигуна,

де n_1 – номер вузла вхідного шару;

n_3 – номер вузла вихідного шару;

a – коректне значення, діапазон якого від 1 до 10 [9].

Вибір вибірки нейронної мережі: на підставі діагностики несправностей можна отримати навчальний зразок і вихідний сигнал, як показано в табл. 1 і табл. 2.

У даній експертній системі діагностики несправностей автомобіля, за допомогою нейронної мережі, помилка навчання встановлена 0,001, навчальні зразки вводяться до системної програми, і результати випробувань можуть бути отримані, як показано в табл. 3.

Як можна бачити з табл. 2 і 3, фактичний вихід і необхідні вихідні значення мають відносно хороший ступінь відповідності, тому цей метод діагностики СКТЗ несправностей, заснований на нейронній мережі, має високу точність і надійність.

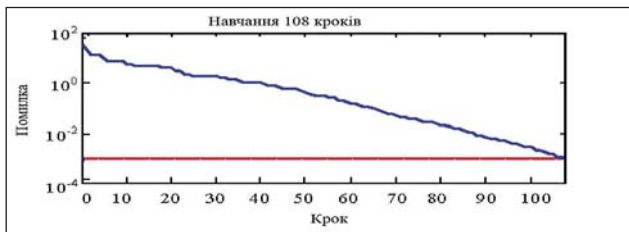


Рис. 3. Зв'язок між помилкою навчання і навчальними епохами під час введення навчальних зразків до системи

Зв'язок між помилкою навчання і етапом навчання показаний на рис. 3. Коли процес навчання досягає 108 кроків, точність похибки відповідає вимозі діагностики несправностей. Крім того, коли змінюється вимога помилки, можна виявити, що крок навчання і час відповідно змінюються. Наприклад, якщо необхідна менша помилка навчання, час навчання буде більшим, що призведе до збільшення кроку навчання.

Висновки. На основі аналізу особливостей експертної системи діагностики несправностей СКТЗ і методів аналізу нейронної мережі розроблена експертна система діагностики несправностей автомобілів. Проведений аналіз алгоритмів роботи нечітких нейронних мереж свідчить про те, що ці мережі, за певних обмежень, з успіхом можуть використовуватися у прогнозуванні технічного стану в бортових діагностичних системах.

Результати показують властивість штучних нейронних мереж та їх великий потенціал у галузі прогнозування відмов, можливості паралельної обробки інформації усіма нейронами. Завдяки цій здатності, за великої кількості навчальної вибірки, досягається збільшення точності в прогнозуванні несправностей СКТЗ.

Під час генерування сигналів ЕБК двигуна було визначено такі переваги використання нейромережових алгоритмів для вирішення вищезазначених завдань: підвищення ефективності діагностики, простота навчання і донавчання. Обґрунтовано можливість використання штучних нейронних мереж у системах технічної діагностики СКТЗ.

Список літератури:

1. Вікторова О.В., Коваль А.О. Використання «м'яких» обчислень в інтелектуальних інформаційно-вимірjuвальних системах дорожніх машин. Вестник ХНАДУ, 2011. Вып. 53. С. 111–117.
2. Вікторова О.В. Методика побудови функцій приналежності інформативних параметрів динамічних режимів роботи дорожньої машини. Восточно-европейский журнал передових технологий. 2011. № 53. С. 11–15.
3. Жернаков С.В. К вопросу о построении гибридных нейро-нечетких экспертных систем к диагностике и контролю ГТД. Управление в сложных системах. Уфа: УГАТУ, 1999. С. 119–126.
4. Круглова Т.Н. Нечеткий экспертный метод диагностирования технического состояния очистного комбайна. Наукові праці ДонНТУ. 2010. № 18. С. 179–185.
5. Лукіна С.В. Прогностичне моделювання проектних інноваційних рішень по конфігурації засобів оснащення високотехнологічних виробництв. Економіка та держава. 2015. № 8. С. 68–71.
6. Хайкин С. Нейронные сети. М: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
7. Яковлев С.А. Экспертні системи: навч. посіб. СПб.: ГУАП, 2010. 124 с.
8. Jiang H.F., Lu X.D. Electrical ejection engine fault diagnosis expert system based on artificial intelligence. 2004. P. 270–271.
9. Zhang W. Based on expert systems in the automotive engine fault diagnosis application. Master Thesis, Taiyuan University of Technology. Taiyuan. China. 2011. P. 70–75.
10. Zhu Q., Huang A.R., Bao J. Design and implementation of automobile fault diagnosis expert system. Automotive Indus. 2010. P. 70–74.

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены основные механизмы и принципы работы современной технической диагностики автомобилей. Проанализированы возможности избегания основных недостатков, возникающих при диагностике и эксплуатации самоходного колесного транспортного средства. Показана необходимость внедрения новых технологий для планирования и повышения эффективности технической эксплуатации с описанием построения экспертной системы на основе технологии с использованием возможностей нейронных сетей как инструмента практического решения прикладных задач в области диагностики и прогнозирования работоспособности самоходного колесного транспортного средства. Обоснована важность повышения качества анализа диагностической информации путем внедрения искусственных нейронных сетей в программу блока управления.

Ключевые слова: самоходное колесное транспортное средство, динамические нагрузки, система технической диагностики, искусственные нейронные сети, электронный блок управления.

DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL STATE OF AUTOMOBILES USING THE NEURAL NETWORK

The article deals with the main mechanisms and principles of modern technical diagnostics of automobiles. The possibilities of avoiding the main disadvantages that arise during the diagnostics and exploration of a self-propelled wheeled vehicle analyzed. Demonstrated the necessity of introducing new technologies for planning and improving the efficiency of technical operation with the description of constructing an expert system based on technology using the capabilities of neural networks as a tool for practical solution of applied tasks in the field of diagnosing and forecasting the performance of a self-propelled wheeled vehicle. Substantiated the importance of improving the quality of diagnostic information analysis by introducing artificial neural networks into the control unit program.

Key words: self-propelled wheeled vehicle, dynamic loads, system of technical diagnostics, artificial neural networks, electronic control unit.