

Система прогнозування потреби запасних частин автомобілів-тягачів на основі гібридних нейронних мереж за допомогою статистичних даних

В.Є. Тенишев, О.П. Кравченко,
Є.А. Верітельник

Кафедра автоніки та управління на транспорті,
Східноукраїнський національний університет імені
Володимира Даля. УКРАЇНА, м. Луганськ,
кв. Молодіжний, 20а. E-mail: avtoap@ukr.net

Abstract – There are various methods for determining the need for spare parts: a method of calculating according to nomenclatural rules, definition of requirements for spare parts to power units according to parameters that define the loading and high-speed operation mode; determination of the rates of consumption of spare parts for the approximate evaluation of the first parts replacement.

The conducted research has shown that the existing methods allow to calculate the required number of spare parts, each method has its advantages, but there are also definite drawbacks. Therefore, the development of the universal method that would allow to take into account the advantages and to eliminate the defects of existent methods, and which would be easy to use at the enterprises is expedient.

Neural networks are well suited for the tasks of classification, optimization and forecasting. The system developed based on fuzzy logic elements using neural networks, in which as expert opinion incorporated the results of statistical data processing. As a result of the research work a hybrid network was obtained, by the means of which the expert system that can predict the number of failures was developed.

Ключові слова: автомобілі-тягачі, відмови, статистичні дані, прогнозування, номенклатура, нейронна мережа.

I. Вступ

Автомобільний транспорт є важливою ланкою в ланцюжку логістичної системи. Якість його роботи визначає технічний стан рухомого складу, а це у великій мірі залежить від надійності агрегатів і вузлів, постачання запасними частинами яких, безсумнівно, впливає на ефективність роботи всієї системи в цілому.

Особливо це важливо, якщо рухомий склад представлений автотранспортною технікою зарубіжного виробництва – вартість деталей висока, а терміни поставки можуть становити від трьох до семи днів.

II. Методи визначення потреби в запасних частинах для автотранспортних підприємств

Існує багато методів визначення кількості запасних частин [1]. Метод розрахунку за номенклатурними нормами, що встановлює середню річну витрату конкретної деталі на 100 автомобілів на рік:

$$P_{3ч} = \frac{H \cdot A}{100} \cdot K_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (1)$$

Даний метод використовують автовиробники для визначення обсягу виробництва запасних частин для всього парку експлуатованих автомобілів.

При нормуванні запасних частин по номенклатурних нормах, керівники служб забезпечення на АТП використовували номенклатурні довідники, в яких були вказані норми споживання деталей розраховані на 100 автомобілів. Знаючи обсяг парку автомобілів підприємства, керівники служб могли вирахувати необхідну потребу. Але його використання не дозволяє повною мірою врахувати індивідуальні особливості експлуатації рухомого складу, якість паливно-мастильних матеріалів і запасних частин.

Інший метод – визначення потреби в запасних частинах до силових агрегатів згідно параметрів, які визначають вантажно-швидкісний режим роботи [2]: швидкість руху автомобіля, витрата палива, повну вагу автомобіля та інше. Номенклатура запасних частин в такому разі коригується показником потреби в запасних частинах

$$N_3 = n_3 \cdot K_n / A_{en} \quad (2)$$

Критерій потреби в запасних частинах для вантажних автомобілів і сідельних тягачів у складі автопоїздів [2] визначається за формулою:

$$K_{nGA} = 1 / \left[\frac{0,05V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{\max} \cdot g_{emin}} \times (H_{san} + H_w \cdot q_H \cdot \gamma \cdot \beta) \right] (1 + 0,001K_{\Sigma}) \leq 1,0 \quad (3)$$

Визначення норми витрат запасних частин за наближеною оцінкою до першої заміни деталі відноситься до аналітичних методів [2]. Через витрати запасних частин по ресурсу до 1-ї заміни деталі можна визначити наближену норму запасних частин:

$$H_H = \frac{L_p}{\eta \cdot L_l} \cdot 100 \quad (4)$$

Необхідну кількість запасних частин для одномарочного рухомого парку автомобілів можна розрахувати, розглянувши цикли ремонтних дій і заміні деталей. Новий автомобіль, який надійшов у АТП, експлуатується до заміни деякої деталі на певному пробігу. Далі він експлуатується з встановленою на нього запасною частиною, яка вийде з ладу після середнього напрацювання і так далі. Число заміні за весь термін служби автомобіля складає

$$m = \frac{L_a - L_H}{L_p} \quad (5)$$

Для 100 автомобілів за рік за умови, що на автомобілі встановлено n однакових деталей, усереднена норма:

$$N = \frac{100 \cdot n \cdot (L_a - L'_H)}{L'_3 \cdot t_a} \quad (6)$$

Проведені дослідження показали, що існуючі методи дозволяють розрахувати необхідну кількість запасних частин; кожен з методів має свої переваги, але є й недоліки. Деякі методи не враховують впливаючі фактори, інші застосовуються для окремих систем автомобіля. Тому доцільна розробка універсального методу, який би дозволив врахувати переваги існуючих методів, виключав би недоліки, і був би легким у використанні на підприємствах.

III. Теоретичні передумови використання гібридних мереж для визначення потреби в запасних частинах

У літературі наведено декілька ознак, які повинна мати задача, щоб застосування нейронних мереж було виправдано і мережа могла б її вирішити: відсутній алгоритм або не відомі принципи вирішення задачі, але накопичена достатня кількість прикладів; проблема характеризується великими обсягами вхідної інформації; дані неповні або надлишкові, зашумлені, частково мають протиріччя.

Тому, нейронні мережі добре підходять для задач класифікації, оптимізації і прогнозування.

На рисунку 1 зображена модель нейрона з трьома входами, причому ці входи мають ваги w_1 , w_2 , w_3 . Нехай до входів надходять імпульси сили x_1 , x_2 , x_3 відповідно, тоді після проходження входів до нейрона надходять імпульси w_1x_1 , w_2x_2 , w_3x_3 . Нейрон перетворює отриманий сумарний імпульс $x = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3$ відповідно до деякої передавальної функції $f(x)$. Сила вихідного імпульсу дорівнює y (7).

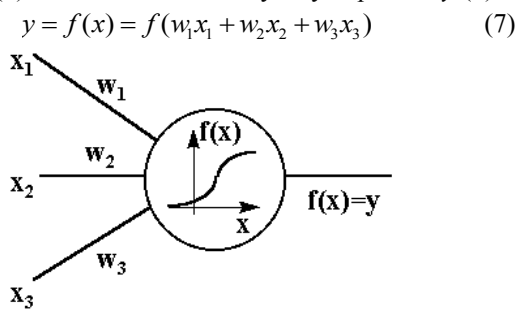


Рис. 1. Математична модель нейрона

Розглянуті алгоритми побудови та функціонування мереж дозволяють використовувати їх для вирішення задач визначення необхідної кількості запасних частин автомобілів. Але потрібен статистичний аналіз конкретних відмов автомобілів для побудови навчальної вибірки системи.

IV. Статистичне дослідження потреби в запасних частинах автомобілів-тягачів

Дослідження, виконані в гарантійний період експлуатації автомобілів-тягачів Mercedes-Benz 1844 Astros LS, визначили менш надійні елементи і надали можливість більше вивчити їх [3].

Спостереженнями за 160 автомобілями з середнім пробігом за рік 76,8 тис. км (мін. – 11,35 тис. км; макс. – 121,27 тис. км) було встановлено, що середнє

напрацювання до першого порушення працездатності склало 31 тис. км, в середньому на кожному автомобілі виявлено 4,9 несправності, що зажадала гарантійної дії. На перших 10 – ти тис. км пробігу сімнадцять автомобілів відвідали сервісні центри по одному разу, п'ять автомобілів – від 2 – х до 4 – х разів (заміна паливних баків, коробки передач, автономного опалювача, турбокомпресора, тахографа, сальника хвостовика провідної шестерні головної передачі, рульової тяги, блоку управління двигуном). Виконані спільні роботи замовника і виробника по виявленню і усуненню в перший рік експлуатації недоліків технології виготовлення автомобілів, визначили подальшу організацію профілактичних робіт.

На сьогодні дослідницька робота була виконана з оцінки надійності цих вантажних автомобілів з пробігом до 900 тис. км. Група I – у кількості 110 автомобілів, що знаходяться в експлуатації з 2004 р. по 2012 р. Група II – автомобілі у кількості 50 одиниць, що експлуатуються з 2005 р. по 2012 р. За весь період експлуатації виявлені 3486 порушень працездатності, в середньому 21,8 відмови на один автомобіль. В результаті аналізу був визначений характер розподілу відмов по агрегатах і системах автомобілів (табл. 1 і рис. 2).

ТАБЛИЦЯ 1

РОЗПОДІЛ ВІДМОВ АВТОМОБІЛІВ-ТЯГАЧІВ
MERCEDES – BENZ 1844 ACTROS LS

Група агрегатів	Кількість відмов і несправностей
ДВЗ	353
Трансмісія	439
Рульове управління	215
Ходова частина	823
Електричне і електронне обладнання	958
Гальмівна система	29
Інше	669

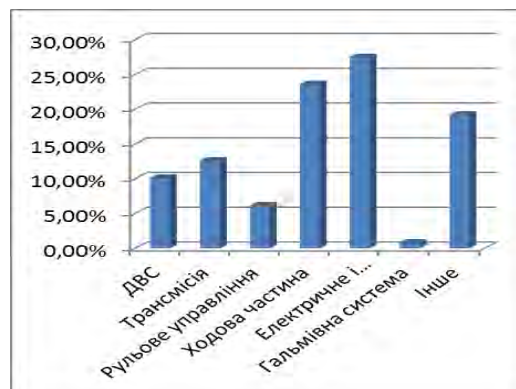


Рис. 2. Загальний розподіл відмов.

Найбільше кількісне значення відмов (958) спостерігається в системі електричного і електронного устаткування, з якого більшість – 178 доводиться на заміну ролика натяжителя ремня генератора, 124 –

на заміну підшипника генератора, 119 – на заміну ременя генератора. За весь час експлуатації автомобілів було замінено 58 генераторів – це фактично на кожному 3-му автомобілі. Також було зафіксовано 115 ремонтів тахографів, з них 10 – заміна тахографів у зборі.

Більшість несправностей ходової частини досліджуваних автомобілів (рис. 3) відносяться до заміни пневморесор – 321 (39 % від загального числа відмов елементів ходової частини), на другому місці – 279 (34 %) складає заміна втулок торсіона. Серед інших несправностей ходової частини відмічені втулки стабілізатора (11 %), амортизатори задньої осі (2 %).

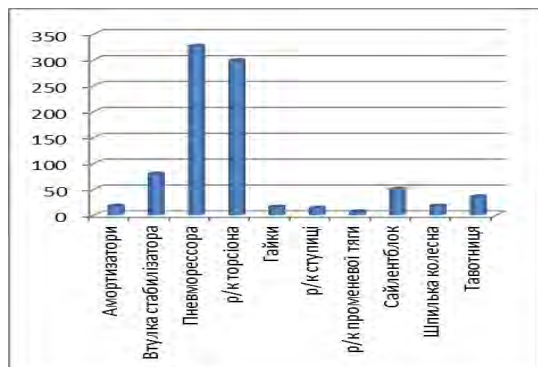


Рис. 3. Розподіл несправностей ходової частини

Несправності трансмісії представлені замінами підшипника вичавного (41,5 % від усіх відмов трансмісії) і диска зчеплення (24,1 %). Вихід з ладу джойстика КПП складає 9,1 % до загального числа несправностей трансмісії. Також за весь час експлуатації було виконано дві заміни редукторів заднього моста і одна коробка перемикачів передач у зборі. Серед інших несправностей трансмісії – відмови пневмо-гідропідсилювача зчеплення – 10,5 %. Такі несправності як корзина зчеплення і механізм перемикачів передач складають не більше 4 %.

Рульове управління займає п'яте місце в загальному рейтингу несправностей. На частку гідропідсилювача керма і його частин припадає 32 % усіх несправностей рульового управління (були замінені шланги і сальники ГПР). Один раз замінений насос ГПР. До інших несправностей рульового управління відносяться заміни рульової тяги (14 од.) і рульового валу шліцьового (12 од.).

Несправності двигуна серед загального потоку відмов займають 10 %. З них, 38,8 % складають несправності інтеркулера – 137 дій, меншу долю – 32,6 % із загального числа несправностей двигуна, займають розпилувачі форсунки – 115 дій. Проблеми з системою пуску, що привели до заміни стартера у зборі, виникали 9 разів, випадків прогорання прокладок голівки блоку циліндрів – 11 разів, виходів з ладу термостатів – 15 разів.

Однією з найбільш надійних систем автомобіля виявилася гальмівна система, її доля в загальній кількості несправностей складає не більше 1 %. 41,3 % від загальної кількості несправностей гальмівної системи доводиться на модулятор гальм, стільки ж на

енергоаккумулятор. Також було виконано дві заміни гальмівних шлангів і встановлено три ремонтні комплекти супортів гальм.

Несправності систем, віднесених в групу «Інше», складають 19 % від загальної кількості відмов. Тут найбільшу частину займають відмови амортизаторів кабіни – 13,9 % від загального числа. Загалом же несправності елементів підвіски кабіни – таких як стабілізатор кабіни і водійського сидіння, торсион і подушка кабіни і інші елементи підвіски кабіни складають 50,5 % від усіх відмов цієї групи. Відмови системи опалювання кабіни водія і її елементів склали 179 разів (26,8 %).

Проведений статистичний аналіз дозволив зробити висновки з номенклатури та потрібної кількості запасних частин, а також зібрати дані, необхідні для проведення подальших досліджень, та побудови навчальної вибірки для розробки моделі гібридної мережі.

V. Навчання гібридної мережі для визначення потреби в запасних частинах

Проектування адаптивної системи нейро-нечіткого виводу, як і будь якої нейронної мережі, складається з побудови системи та її навчання. У багатошарових мережах оптимальні вихідні значення нейронів усіх шарів, крім останнього, як правило, не відомі, і двох або більше-шарову мережу вже неможливо навчити, керуючись тільки величинами помилок на виходах мережі. Найбільш прийнятний варіант – поширення сигналів помилки від виходів мережі до її входів, у напрямку, зворотному прямому поширенню сигналів у звичайному режимі роботи [4]. На рисунку 4 представлений процес навчання нейромережі. Цей алгоритм навчання мережі отримав назву процедури зворотного поширення.

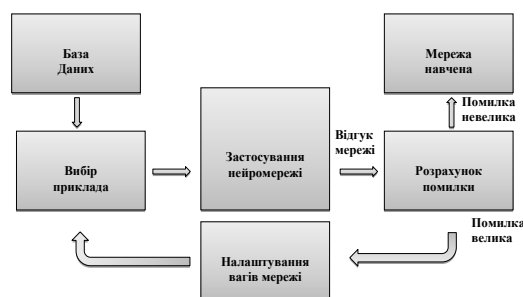


Рис. 4. Процес навчання нейромережі

Пропонується система, розроблена на основі нечіткої логіки з застосуванням елементів нейронних мереж, в якій в якості експертного закладені результати логарифмічно-нормального закону розподілу відмов.

Уявімо систему у вигляді об'єкта з двома входами X_1 , X_2 і одним виходом Y , де X_1 – пробіг автомобіля; X_2 – кількість відмов досліджуваної деталі (вузла), Y – прогнозована кількість відмов деталі. Параметри стану системи X_1 , X_2 і управлінську дію Y

вважатимемо лінгвістичними змінними, які оцінюються за допомогою словесних термів. Використання нечітких логічних рівнянь передбачає наявність функцій належності нечітких термів, які входять до бази знань. За визначенням функція приналежності $\mu^T(u)$ характеризує суб'єктивну міру (в діапазоні [0; 1]) впевненості експерта в тому, що чітке значення u відповідає нечіткому терму T . У даній моделі використовувалася модель функції належності у вигляді формули (8)

$$\mu^T(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-b}{c}\right)^2} \quad (8)$$

де b – координата максимуму функції; c – коефіцієнт концентрації – розтягування функції.

На основі складених правил бази знань були створені такі нечіткі логічні рівняння, що встановлюють зв'язок між функціями належності змінних. Точками позначена операція \cap (min), а знаком \cup (Диз'юнкція) – операція АБО (max).

Тоді лінгвістичний опис формули (9) буде виглядати як: ЯКЩО – пробіг автомобіля до 100 тис.км і статистика відмов – дуже рідко; АБО ЯКЩО – пробіг автомобіля до 100 тис.км і статистика відмов – рідко; ТО – прогноз відмов – дуже мало. Аналогічно було сформульовано правила для всіх випадків. Для отримання кількісного значення Y необхідно виконати операцію дефаззифікації, тобто переходу від нечіткого терму до чіткого числа.

Для виконання цієї операції діапазон зміни змінної Y ділиться на чотири класи (10). Чітке значення прогнозу відмов визначається за формулою (11).

$$\mu^{p_1}(y) = \mu^{L_1}(x_1) \cdot \mu^{S_1}(x_2) \cup \mu^{L_2}(x_1) \cdot \mu^{S_2}(x_2) \quad (9)$$

$$y \in [y, \bar{y}] = \underbrace{[y, y_1]}_{p_1} \cup \underbrace{[y_1, y_2]}_{p_2} \cup \underbrace{[y_2, y_3]}_{p_3} \cup \underbrace{[y_3, \bar{y}]}_{p_4}. \quad (10)$$

$$y = \frac{y\mu^{p_1}(y) + y_1\mu^{p_2}(y) + y_2\mu^{p_3}(y) + y_3\mu^{p_4}(y)}{\mu^{p_1}(y) + \mu^{p_2}(y) + \mu^{p_3}(y) + \mu^{p_4}(y)} \quad (11)$$

VI. Прогнозування відмов

Одній з найчастіше замінюваних деталей ходової частини і елементів підвіски автомобілів MERCEDES – BENZ ACTROS 1844 LS є пневморесора – близько 40 % усіх заміни. Проведений статистичний аналіз показав наявність підпорядкування потоку відмов логарифмічно-нормальному закону розподілу (рис. 5).

Дана модель прогнозування відмов пневморесори – деталі ходової частини автомобіля-тягача MERSEDES – BENZ ACTROS 1844 LS – була реалізована в програмному середовищі MathLab 7.12, використані два інструментальних засоби цієї системи: пакети Neural Networks Toolbox (нейронні мережі) і Fuzzy Logic Toolbox (пакет нечіткої логіки).

Нечітка модель гібридної мережі містила в собі дві вхідні змінні – X_1 (пробіг до відмови пневморесори), X_2 (кількість відмов пневморесор) і одну вихідну змінну – Y (кількість відмов пневморесор на наступний період).

Суть настроювання моделі полягає в підборі таких параметрів функцій належності b , c і ваг нечітких правил w , які забезпечують мінімум розбіжності між модельними і експериментальними даними.

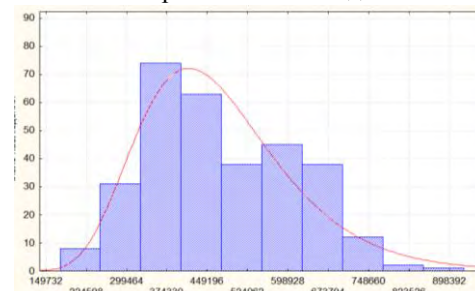


Рис. 5. Розподіл потоку відмов пневморесор автомобілів MERCEDES – BENZ ACTROS 1844 LS.

Як повчальна вибірка взято значення трійок (пробіг, відмова, управляюча дія), з урахуванням даних отриманих в результаті статистичного дослідження. За допомогою ANFIS-редактора виконувалося навчання створеної системи.

Результатом стала експертна система, яка дозволяє прогнозувати кількість відмов пневморесор на заданому пробігу. Для парку в 160 автомобілів MERSEDES – BENZ 1844 ACTROS LS на пробігу 670 тис. км за даними розробленої системи буде потрібно 42 заміни пневморесор.

Висновок

Розглянутий метод нечіткого багатокритеріального аналізу, побудований на основі нейронних мереж, заснований на нечіткому логічному висновку, який використовує базу лінгвістичних правил, дозволяє проводити прогнозування відмов елементів автомобіля. Структура лінгвістичних терм-множин дозволяє врахувати особливості статистичних даних. Отримана система дозволить з достатньою точністю прогнозувати потрібну кількість запасних частин.

References

- [1] N.Y. Govorushchenko and V.V. Baranov, "Metodika planirovaniya rashoda zapasnyh chastej" ["Method of planning spare parts consumption"], Avtomobil'nyj transport – Road transport, no. 7, pp. 19 – 24, 1970.
- [2] E.S. Kuznecov, V.P. Voronov, A.P. Boldin Tehnicheskaja jekspluatacija avtomobilej [Technical maintenance of vehicles]. Textbook for High Schools, edition 3, Moscow: Transport Publ., 1991.
- [3] A.P. Kravchenko, E.A. Veritelnik, Statisticheskij analiz nadezhnosti avtomobilej-tjagachej MERCEDES-BENZ 1844 ACTROS LS [Statistical analysis of the reliability of cars, trucks MERSEDES-BENZ 1844 ACTROS LS], in Proceedings of the 7th International scientific conference "Problems quality and operation of motor vehicles": May 16-18, 2012, Penza, Russia. Penza: PGUAS Publ., 2012. Pp. 188-192.
- [4] C. Osovsky, "Nejronnye seti dlja obrabotki informacii" ["Neural networks for information processing"]. Moscow: Finances and Statistics Publ., 2002.