

УДК 629.113
UDC 629.113

Міронов Д.В., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Гупка А.Б., Слободян Л.М., Гевко Б.Р., Хорошун Р.В.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ДІАГНОСТИЧНОГО ПОКАЗНИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

У статті розроблено регресійну модель узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля для прискорення процесу постановки діагнозу про технічний стан його вузлів з використанням методів планування експерименту при оптимізації багатофакторних процесів, методів математичного моделювання та методів статистичного аналізу.

В результаті проведення повного факторного експерименту отримано регресійне рівняння узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля. За рівнянням регресії визначено характер впливу діагностичних параметрів ходової частини на її загальний технічний стан. На основі аналізу величин коефіцієнтів членів рівняння регресії отримано перелік факторів, які мають найбільший вплив на технічний стан ходової частини автомобіля. Отримано поліноміальну математичну модель узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини авто, яка може бути використана в задачах прогнозування технічного стану.

Удосконалено теоретичний підхід до оцінки технічного стану вузлів автомобілів шляхом використання математичних моделей узагальнених діагностичних показників технічного стану основних агрегатів авто з застосуванням методів теорії планування експериментів.

Поліноміальні моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану вузлів автомобіля можуть бути використані для створення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих систем моніторингу та прогнозування технічного стану автомобільних вузлів. Це дозволить оптимізувати та прискорити процес обробки інформації, отриманої в ході ремонтів та технічних оглядів автомобілів, скоротити час на постановку діагнозу, а також підвищити точність його постановки. Додатково це дозволить зменшити матеріальні та фінансові витрати на проведення технічних оглядів і ремонтних робіт агрегатів автомобіля.

Ключові слова: ходова частина автомобіля, математична модель, повнофакторний експеримент, ремонт, діагностика

ВСТУП

Зростання ролі та значення технічної діагностики автомобілів пов'язане із загальним технічним розвитком та ускладненням технічних вузлів, з необхідністю забезпечення технічної та екологічної безпеки, ефективної експлуатації.

При глобалізації методів та засобів технічного контролю та діагностики великого та різноманітного парку транспортних засобів, різного рівня діагностичних засобів головним залишається подальша інтелектуалізація діагностики [1]. Обов'язкове визначення залишкового ресурсу у реальному часі, зниження ризиків експлуатації та мінімізація впливу обслуговуючого персоналу у прийнятті кінцевого рішення – такі завдання вимагають істотного підвищення рівня діагностичного забезпечення автомобілів. Сучасний етап розвитку систем технічного обслуговування та ремонту (ТО та Р) автомобілів акцентує увагу на створенні методів, які зорієнтовані на персоналізоване відстеження та прогнозування змін у технічному стані автомобільних вузлів під час їхньої експлуатації. Важливо розробляти засоби збору діагностичних даних та математичні алгоритми, які відображають ключові аспекти впливу на технічний стан автомобіля [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Оцінюючи технічний стан окремих вузлів автомобіля, необхідно розглядати різні параметри: механічні, вібраційні, теплові, електричні тощо, кожен з яких характеризується своєю фізико-хімічною особливістю. Ці параметри впливають на конкретні характеристики автомобільних вузлів. І хоча деякі властивості можна оцінити достатньо точно окремо, комплексна оцінка стає складною через різницю у фізичній природі параметрів і відсутність прямого корелятивного зв'язку між ними. Таким чином, для об'єктивної оцінки експлуатаційних характеристик необхідно використовувати узагальнені показники їх функціонування. Застосування такого узагальненого діагностичного критерію поліпшує точність визначення реального технічного стану вузлів агрегатів.

Паралельно, автоматизація процесів діагностики автомобіля потребує математичних моделей узагальненого діагностичного показника для забезпечення швидкості та точності діагностики. Моделювання та прогнозування такого показника є складним завданням з численними факторами та

нелинійними взаємодіями між ними, що вимагає застосування різноманітних методик. В даному контексті, методи теорії планування експерименту можуть стати ефективним засобом для розв'язання цієї проблеми.

З метою прискорення постановки діагнозу про технічний стан вузлів автомобіля розроблено концепцію побудови та оцінки регресійної моделі на підставі математичного планування та обробки результатів активного експерименту [3-5]. Відповідно до цієї концепції розроблено математичну модель оцінки стану вузлів агрегату на прикладі ходової частини автомобіля.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розробка регресійної моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля для прискорення процесу постановки діагнозу про технічний стан його вузлів.

Для вирішення поставлених у роботі задач були використані методи планування експерименту при оптимізації багатоваріантних процесів, методи математичного моделювання та методи статистичного аналізу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При розробці математичної моделі ключовими аспектами є її простість та адекватність. Прийнято, що алгебраїчні поліноми вважаються одними з найбільш простих моделей. Ці поліноми є лінійними стосовно їх параметрів, що полегшує аналіз результатів дослідження. Тому в цій роботі в якості основи було взято саме алгебраїчні поліноми.

Обираючи план дослідження, на перший план виступають критерії оптимальності та обсяг досліджень. В цьому контексті стає зрозумілим, що оптимальний план повинен бути дворівневим (оскільки акцент зроблено на лінійну модель), з ортогональністю та можливістю ротації [4]. Ортогональність дозволяє прямувати вздовж градієнта відповідно до коефіцієнтів моделі та окремо оцінювати їх вплив. Можливість ротації забезпечує однаковість дисперсій прогнозів при переміщенні в будь-якому напрямку від центральної точки дослідження. Саме тому для встановлення математичної залежності між технічним станом ходової частини автомобіля та факторами, що впливають на нього, застосовується повний факторний дворівневий експеримент (ПФЕ 2^n), що складається з $N = 2^k$ дослідів, де N – кількість дослідів, k – кількість факторів, 2 – кількість рівнів.

Наступним кроком є вибір факторів для оцінки технічного стану вузла. Необхідно, щоб фактори були керованими, операційними, однозначними, сумісними, незалежними і мали досить високу точність виміру [5].

1. Керованість означає, що обране значення (рівень) фактора може підтримуватись постійним протягом усього експерименту.

2. Операційність фактора визначається як зазначення послідовності операцій, за допомогою яких встановлюються його конкретні значення (рівні). З операційним визначенням фактора пов'язані вибір його розмірності та точність його фіксування.

3. Під однозначністю фактора розуміється безпосередність його на відгук. Інакше висловлюючись, фактор має бути функцією інших чинників.

4. Сумісність факторів означає, що всі їх комбінації здійсненні та безпечні.

5. Незалежність факторів дорівнює відсутності між ними кореляційного зв'язку.

Для спрощення запису умов експерименту і обробки експериментальних даних масштаби по осях вибираються так, щоб верхній рівень відповідав +1, нижній -1, а основний нулю. Перехід від дійсних значень факторів до кодованих безрозмірних величин здійснюється за формулою:

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j}, \quad (1)$$

де x_j – кодоване значення фактора, \tilde{x}_j – натуральне значення фактора, \tilde{x}_{j0} – натуральне значення основного рівня, I_j – інтервал варіювання, j – номер фактора. Для якісних факторів, що мають два рівні, один рівень позначається +1, а інший – 1, порядок рівнів не має значення.

Наступним кроком є побудова матриці планування експерименту шляхом запису кодованих значень факторів і результуючої функції відгуку для кожного дослідів [6]. Побудована матриця планування експерименту повинна задовольняти наступним вимогам:

1) Симетричність відносно центру експерименту

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} = 0, \quad (2)$$

де j - номер фактора, N — число дослідів, $j = 1, 2, \dots, k$.

2) Умова нормування

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N. \quad (3)$$

Це наслідок того, що значення факторів у матриці задаються $+1$ і -1 .

3) Ортогональність матриці планування

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot x_{ui} = 0, \quad j \neq u, \quad j, u = 0, 1, 2, \dots, k. \quad (4)$$

4) Ротаційність – точки в матриці планування підбираються так, що точність передбачення значень параметра оптимізації однакова на рівних відстанях від центру експерименту і не залежить від напрямку.

Результати експерименту записуються в останній стовпець матриці повного факторного експерименту. У різних дослідах такого експерименту реалізуються всі можливі поєднання рівнів n факторів, що впливають на відгук. Функцією відгуку в даному випадку є величина Y , що приймає значення y_1, y_2, y_3, \dots і визначає технічний стан узагальнений стан ходової частини автомобіля. Після цього виконується обробка результатів експерименту [7], яка включає в себе наступні кроки:

1) Розрахунок оцінки дисперсії відтворюваності.

$$s_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1}, \quad (5)$$

де \bar{y} - математичне очікування функції відгуку, $N-1$ - число рівнів свободи.

2) Визначення коефіцієнтів регресії.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot x_{ji}}{N}, \quad b_0 = \bar{y}. \quad (6)$$

3) Перевірка значущості коефіцієнтів регресії.

$$s_{\{b_j\}}^2 = \frac{s_{\{y\}}^2}{N}, \quad \Delta b_j = \pm t \cdot s_{\{b_j\}}, \quad (7)$$

де t - табличне значення критерію Стюдента при кількості рівнів свободи, з якими визначалася $s_{\{y\}}^2$ і вибраному рівні значимості (для нашого випадку 0,05).

Коефіцієнт значимий, якщо його абсолютна величина більша або дорівнює Δb_j [8]. Доданки з незначними коефіцієнтами виключають із рівняння. Причиною отримання незначного лінійного коефіцієнта будь-якого фактора може бути одна з таких ситуацій:

- цей фактор на технічний стан вузла не впливає;
- вибрано занадто малий інтервал варіювання, у зв'язку з чим зміна відгуку, обумовлена зміною фактора, пропорційна до випадкових відхилень, що викликаються впливом неврахованих факторів;
- значення даного фактора в центральній точці експерименту відповідає його оптимальній величині, тому однакове його збільшення або зменшення на Δ_j зменшить значення відгуку приблизно на ту саму величину.

4) Перевірка адекватності моделі.

$$F = \frac{s_{ад}^2}{s_{\{y\}}^2}, \tag{8}$$

де F - критерій Фішера. При цьому $F_{розрах} < F_{табл}$;
 f - число рівнів свободи, $f = N - (k + 1)$;
 $s_{ад}^2$ - дисперсія адекватності:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{f}, \tag{9}$$

де \hat{y}_i - значення функції відгуку, розраховане за рівнянням регресії; y_i - значення функції відгуку, отримане в результаті експерименту.

Після завершення повного факторного експерименту дані представляються у формі поліноміального рівняння регресії. Заключний етап експерименту полягає в аналізі отриманих даних та прийнятті відповідних рішень на основі складеної моделі [9]. Встановлюється, якою мірою кожен з факторів впливає на параметр оптимізації. Коефіцієнти лінійних членів цього рівняння вказують на силу впливу факторів. Чим більша чисельна величина коефіцієнта, тим більше аналізований фактор впливає на узагальнений показник технічного стану ходової частини автомобіля. Якщо коефіцієнт додатний, то із збільшенням значення фактора значення узагальненого показника технічного стану покращується, в протилежному випадку – зменшується. Коефіцієнти при добутку змінних x_{ij} визначають ефекти взаємодії факторів. Наприклад, якщо коефіцієнт при добутку двох кодованих факторів позитивний, то для збільшення значення узагальненого показника технічного стану потрібне одночасне збільшення або зменшення значень цих факторів, а для зменшення – фактори мають змінюватись у різних напрямках. Якщо цей коефіцієнт має негативний знак, то для збільшення узагальненого показника фактори повинні змінюватись у різних напрямках, а для його зменшення потрібне одночасне збільшення чи зменшення значень факторів. Аналогічно інтерпретуються значення ефектів взаємодії вищих порядків.

У деяких завданнях актуальним є отримання регресійного рівняння на основі натуральних значень факторів. Щоб отримати рівняння для натуральних величин, можна використовувати формулу (1). Це знижує можливість чіткої інтерпретації впливу окремих факторів, але отримана модель стає корисною для прогнозування змін у критерії оптимальності.

Якщо проста лінійна модель виявляється неадекватною, застосовуються додаткові методи для покращення адекватності: зміна меж варіації факторів, зміщення центру плану або побудова плану експерименту. Останній підхід включає в себе перехід до ортогональних центральних композиційних планів експерименту.

Для отримання математичної моделі узагальненого діагностичного показника проведено повний факторний експеримент для ходової частини автомобіля. В якості функції відгуку використано узагальнений діагностичний показник $D(t)$ [10]. Визначено основні діагностичні показники та межі їх зміни [11] для отримання D (табл. 1).

Таблиця 1 Межі зміни діагностичних показників

Параметр	Сумарний кутовий зазор, град	Максимальне зусилля, Н	Стан рульових тяг	Тиск повітря в шинах, бар	Висота рисунку протектора, мм	Стан шин
Основний рівень	5	7	0	2,2	1,6	0
Інт. варіації	4	5	1	0,5	0,5	1
Верхня межа	9	12	1	2,7	2,1	1
Нижня межа	1	2	-1	1,7	1,1	-1

Враховуючи критерії оптимальності і кількість факторів вибрано план повного факторного експерименту першого порядку типу 2^6 та сформовано матрицю планування повного факторного експерименту (табл. 2), яка складається з 64-х дослідів ($2^6=64$). Матриця планування містить значення факторів у всіх можливих поєднаннях. У матриці експерименту стовпці з 2-го по 7-ий відповідають значенням факторів, 8-ий стовпець – значення відгуку системи, а перший стовпець містить одиниці, відповідні одиничним коефіцієнтам вільного члена моделі.

Таблиця 2 Фрагмент матриці планування повного факторного експерименту

Номер дослідів	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	D
1	1	0,664	0,704	0,800	0,765	0,404	0,800	0,672
2	1	0,664	0,421	0,800	0,765	0,404	0,800	0,617
3	1	0,413	0,704	0,800	0,765	0,404	0,800	0,621
4	1	0,413	0,421	0,800	0,765	0,404	0,800	0,570

На наступному етапі для спрощення рішення системи проведено нормування факторів за виразом (1). Додатково матриця планування повного факторного експерименту добудована стовпцями взаємодії факторів між собою (стовпці 7 – 32) (табл. 3).

Таблиця 3 Фрагмент кодової матриці планування повного факторного експерименту

Номер дослідів	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x1x2	x1x3	x1x4	x1x5	x1x6	x2x3	x2x4	x2x5	x2x6	x3x4	x3x5	x3x6	x4x5	x4x6	x1x2x3	x1x2x4	x1x2x5	x1x2x6	x1x3x4	x1x3x5	x1x3x6	x1x4x5	x1x4x6	D
1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	0,672
2	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0,617
3	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	0,621
4	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	0,570

Побудована матриця задовольняє вимогам (2) – (4). Модель узагальненого діагностичного показника ходової частини автомобіля, отриману в результаті проведення повного факторного експерименту, можна представити у вигляді загального рівняння:

$$D = 0,5451 - 0,0179 \cdot x_1 - 0,0194 \cdot x_2 + 0,0235 \cdot x_3 + 0,0186 \cdot x_4 + 0,0183 \cdot x_5 + 0,0255 \cdot x_6 - 0,0174 \cdot x_1^2 - 0,0166 \cdot x_2^2 + 0,0177 \cdot x_5^2. \quad (12)$$

Проведено перевірку моделі на адекватність. Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{розрах}} = 0,0994$. Для заданих параметрів експерименту $F_{\text{табл}} = 1,53$. Здійсненою перевіркою на адекватність встановлено, що отримана модель адекватна ($F_{\text{розрах}} = 0,0994 < F_{\text{табл}} = 1,53$).

Для визначення характеру впливу окремих діагностичних параметрів на величину узагальненого діагностичного показника ходової частини автомобіля додатково побудовані поверхні відгуку моделі при почерговій фіксації 4-х факторів на одному рівні та зміні 2-х інших факторів. Приклад поверхні відгуку моделі при фіксації факторів «стан рульових тяг», «тиск повітря в шинах», «висота рисунку протектора», «стан шин» та зміні факторів «сумарний кутовий зор» і «максимальне зусилля» представлено на Рис.1.

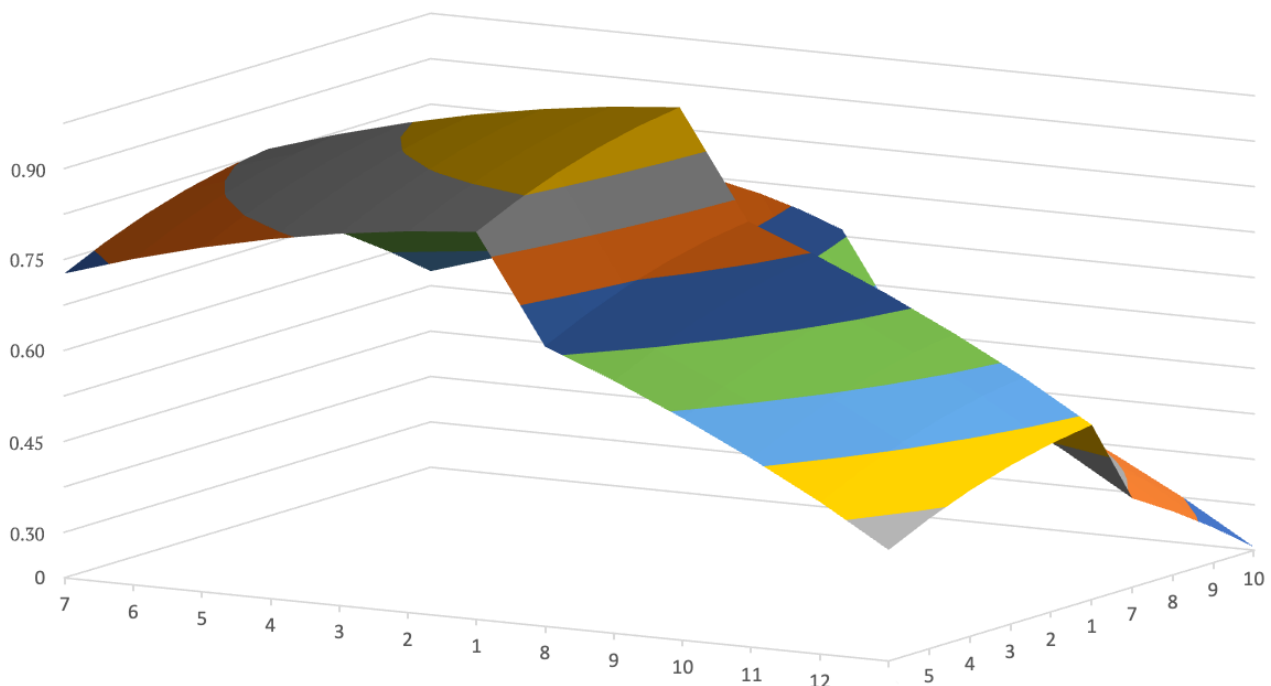


Рисунок 1 – Поверхня відгуку моделі узагальненого діагностичного показника ходової частини автомобіля

В результаті аналізу рівняння регресії (12) та поверхонь відгуку моделі визначено характер впливу діагностичних факторів на зміну технічного стану ходової частини автомобіля. При збільшенні значення таких факторів, як «стан рульових тяг», «тиск повітря в шинах», «висота рисунку протектора», «стан шин» (коефіцієнти регресії цих факторів мають додатний знак) та зменшенні значень факторів «сумарний кутовий зор» і «максимальне зусилля» (коефіцієнт регресії фактору має від'ємний знак) величина узагальненого діагностичного показника буде збільшуватись. При зворотній зміні значень вищезазначених критеріїв стан ходової частини автомобіля буде наближатися до перед аварійного, що сигналізуватиме про необхідність проведення заходів з ТО і Р вузла.

Додатково виконано перехід від нормованих до ненормованих факторів зворотнім перетворенням за виразом (1) для отримання поліноміальної моделі узагальненого діагностичного показника ходової частини автомобіля, придатної для застосування у задачах прогнозування. Виконавши перетворення отримаємо наступний вираз:

$$D = 0,2847 - 0,0251 \cdot x_1 - 0,0314 \cdot x_2 + 0,0478 \cdot x_3 + 0,0231 \cdot x_4 + 0,0276 \cdot x_5 + 0,0341 \cdot x_6 - 0,0211 \cdot x_1^2 - 0,0203 \cdot x_2^2 + 0,0238 \cdot x_5^2. \quad (13)$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отримані поліноміальні моделі узагальненого діагностичного показника з нормованими і ненормованими факторами можуть бути використані для оцінки та прогнозування технічного стану ходової частини автомобіля. Додатково дані моделі можуть бути використані, як основа для побудови автоматизованої системи оцінки і прогнозування технічного стану вузлів автомобіля.

ВИСНОВОК

На підставі проведеного дослідження встановлено, що модель зміни узагальненого діагностичного показника D технічного стану ходової частини автомобіля представлена у формі нелінійного полінома другого ступеня. Шляхом використання математичних підходів теорії планування експериментів отримано математичну модель зміни показника D , яка характеризується високою точністю отриманого результату ($s_{ad}^2 = 0,0031$ для значень узагальненого діагностичного показника, отриманих в результаті експерименту, і значень, розрахованих за рівнянням регресії).

Після проведення повного факторного експерименту побудовано рівняння регресії, яке дозволяє комплексно оцінити технічний стан ходової частини автомобіля, а також визначено характер впливу діагностичних параметрів ходової частини на цей показник. На основі аналізу величин коефіцієнтів членів рівняння регресії отримано перелік факторів, які мають найбільший вплив на технічний стан ходової частини автомобіля. Для прогнозування технічного стану ходової частини автомобіля отримана поліноміальна модель в натуральних значеннях діагностичних факторів.

Визначено, що сформовані поліноміальні моделі узагальненого діагностичного показника D можуть стати основою для створення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих систем моніторингу та прогнозування технічного стану автомобільних вузлів, що дозволить оптимізувати та прискорити процес обробки отриманої в ході експлуатації та технічних оглядів інформації та підвищити точність постановки діагнозу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи технічної діагностики автомобілів: навч. посібник 2-е видання., перероблене і доповнене / В. Д. Мигаль. - Х.: Майдан, 2016. – 372 с.
2. Інтеграція технічної експлуатації автомобілів в структури і процеси інтелектуальних транспортних систем: монографія / В. П. Волков, В. І. Матейченко, О. Я. Ніконов та ін.: під ред. В. П. Волкова. - Донецьк: «Ноулідж», 2013. - 398 с.
3. Sokil Bogdan, Lyashuk Oleg, Sokil Mariya, Vovk Yuriy, Lebid Iryna, Hevko Ivan, Levkovich Mykhaylo, Khoroshun Roman, Matviyishyn Anatoliy. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. *Žilinská univerzita v Žilíně*, В 247-B258. ISSN 1335-4205.
4. Mills K. L., Filliben J. J., and Haines A. L.. (2015). Determining Relative Importance and Effective Settings for Genetic Algorithm Control Parameters. *Evolutionary Computation*, 23 (2), 309 – 342.
5. Lyashuk, O., Levkovich, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. (2023). The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
6. Ситник В. Ф., Орленко Н. С. Імітаційне моделювання: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 1998. – 208 с.
7. Методи побудови імітаційних систем / В.В. Литвинов, Т.П. Мар'янович – К.: Наук, думка, 1991. – 120 с.
8. Ситник В. Ф. Основи машинної імітації виробничих та організаційно-економічних систем. — К.: УМК ВО, 1988. — 188 с.
9. O'Keefe Robert and Roach Joan W. (1987). Artificial Intelligence Approach to Simulation. *Journal of the Operational Research Society*, 38, 713-722.
10. Міронов Д.В. Удосконалення системи ТО і Р обладнання тягових підстанцій з використанням узагальнених критеріїв // *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2015, № 3 (41). – С. 107-116.
11. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. - К.: Держстандарт України, 2011. – 28 с.

REFERENCES

1. Myhal V.D. (2016). *Osnovy tekhnichnoi diahnostyky avtomobiliv: navch. posibnyk 2-e vydannia., pereroblene i dopovnene*. Kh.: Maidan, 372.
2. Volkov V.II., Mateichenko V.I., Nikonov O.Ya ta in.: pid red. V.P. Volkova. (2013). *Intehratsiia tekhnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv v struktury i protsesy intelektualnykh transportnykh system: monohrafiia*. Donetsk: «Noulydzh, 398.
3. Sokil Bogdan, Lyashuk Oleg, Sokil Mariya, Vovk Yuriy, Lebid Iryna, Hevko Ivan, Levkovich Mykhaylo, Khoroshun Roman, Matviyishyn Anatoliy. (2022). *Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension*. *Žilinská univerzita v Žilině*, B 247-B258. ISSN 1335-4205.
4. Mills K. L., Filliben J. J., and Haines A. L.. (2015). *Determining Relative Importance and Effective Settings for Genetic Algorithm Control Parameters*. *Evolutionary Computation*, 23 (2), 309 – 342.
5. Lyashuk, O., Levkovich, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. (2023). *The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom*. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
6. Sytnyk V.F., Orlenko N.S. (1998). *Imitatsiine modeliuvannia: Navch. posibnyk*. K.: KNEU, 208.
7. Lytvynov B.B., Marianovich T.P. (1991). *Metody pobudovy imitatsiinykh system*. K.: Nauk, dumka, 120.
8. Sytnyk V.F. (1988). *Osnovy mashynnoi imitatsii vyrobnychykh ta orhanizatsiino-ekonomichnykh system*. K.: UMK VO, 188.
9. O'Keefe Robert and Roach Joan W. (1987). *Artificial Intelligence Approach to Simulation*. *Journal of the Operational Research Society*, 38, 713-722.
10. Mironov D.V. (2015). *Udoskonalennia systemy TO i R obladnannia tiahovykh pidstantsii z vykorystanniam uzahalnykh kryteriiv*. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 3(41), 107-116.
11. DSTU 3649:2010. (2011). *Kolisni transportni zasoby. Vymohy shchodo bezpechnosti tekhnichnoho stanu ta metody kontroliuvannia*. K.: Derzhstandart Ukrainy, 28.

Dmytro Mironov, Oleg Lyashuk, Ivan Hevko, Andriy Hupka, Lubomyr Slobodian, Bohdan Hevko, Roman Khoroshun. Development of a model of a generalized diagnostic indicator of the technical condition of the vehicle chassis using mathematical methods of the theory of experiment planning.

The purpose of the work is to develop a regression model of a generalized diagnostic indicator of the technical condition of the car chassis to speed up the process of making a diagnosis about the technical condition of its components.

To solve the tasks, the methods of planning the experiment were used in the optimization of multifactorial processes, methods of mathematical modeling and methods of statistical analysis.

As a result of conducting a full factorial experiment, the regression equation of the generalized diagnostic indicator of the technical condition of the car chassis was obtained. According to the regression equation, the nature of the influence of diagnostic parameters of the running gear on its general technical condition is determined. Based on the analysis of the values of the coefficients of the regression equation, a list of factors that have the greatest influence on the technical condition of the car chassis was obtained. A polynomial mathematical model of the generalized diagnostic indicator of the technical condition of the car chassis was obtained, which can be used in the tasks of forecasting the technical condition.

The theoretical approach to the assessment of the technical condition of car components has been improved by using mathematical models of generalized diagnostic indicators of the technical condition of the main units of the car using methods of the theory of planning experiments.

Polynomial models of the generalized diagnostic indicator of the technical condition of car components can be used to create new and improve existing automated systems for monitoring and forecasting the technical condition of car components. This will allow optimizing and speeding up the process of processing information received during repairs and technical inspections of cars, reduce the time for diagnosis, and also increase the accuracy of its diagnosis. In addition, this will allow reducing the material and financial costs for carrying out technical inspections and repair works of car units.

Keywords: vehicle chassis, mathematical model, full-factor experiment, repair, diagnostics

МИРОНОВ Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: mironov.epz@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5717-4322>

ЛЯШУК Олег Леонтійович, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: oleglashuk@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-4881-8568>

ГЕВКО Іван Богданович, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: gevkoivan1@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5170-0857>

ГУПКА Андрій Богданович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: Gypkab@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7565-5664>

СЛОБОДЯН Любомир Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: slobodyanlybchik48@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9191-6801>

ГЕВКО Богдан Романович, кандидат економічних наук, асистент кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: Gevkobr@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1639-2136>

ХОРОШУН Роман Васильович, асистент кафедри автомобілів Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: Roman_086@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-1862-7640>

Dmytro MIRONOV, PhD in Engineering, senior teacher of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: mironov.epz@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5717-4322>

Oleg LYASHUK, Doctor of Technical Sciences, Professor of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: oleglashuk@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-4881-8568>

Ivan HEVKO, Doctor of Technical Sciences, Professor of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: gevkoivan1@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5170-0857>

Andriy HUPKA, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: Gypkab@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7565-5664>

Lubomyr SLOBODIAN, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: slobodyanlybchik48@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9191-6801>

Bohdan HEVKO, PhD in Economics, assistant of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: Gevkobr@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1639-2136>

Roman KHOROSHUN, assistant of Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: Roman_086@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-1862-7640>

DOI 10.36910/automash.v2i21.1218