

УДК 656.01:658.7:656.131

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.284-294](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.284-294)**С. Ю. Тищенко, В. В. Аулін**, проф., д-р техн. наук,**А. В. Гриньків**, ст. дослідник, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: AulinVV@gmail.com*

Визначення елементів, які лімітують працездатність автомобілів групи Renault на основі статистичної інформації про відмови

В статті розглядається метод послідовних переваг при обробці статистичної бази експериментальних досліджень відмов елементів (вузлів, систем, агрегатів) автомобілів групи Renault. Розроблена методика реалізації методу послідовних переваг, яка має п'ять етапів. Теоретично обґрунтовано всі ці етапи на базі статистичних даних і оцінок статистичних показників. Для визначення критичних відмов елементів автомобілів і формування необхідної номенклатури запасних частин сформовані нормовані масиви даних значень бальних оцінок відмов елементів і нормовані значення питомих витрат на запасні частини. Розглянуті різні закони розподілу цих нормованих статистичних масивів. По автомобілям групи Renault сформовані рекомендації, критичні відмови яких елементів переведені в ранг запасних частин.

автомобіль, елемент, працездатність, відмова, статистична інформація, статистичні показники, запасні частини

Постановка проблеми. Виявлення відмов елементів (вузлів, систем і агрегатів) автомобілів [1-3], що лімітують їх працездатність доцільно проводити на основі статистичної інформації про їх експлуатаційну надійність [4-6]. При цьому враховуються наступні критерії: типові відмови, їх кількість на одиницю пробігу для кожної моделі автомобіля; ступені впливу типових відмов на загальну працездатність автомобілів; співвідношення об'ємів затрат S на заміну елементів і середнього напрацювання L – на відмову для даного типу відмов автомобілів [7,8].

Усі критерії реалізувалися на отриманій статистичній базі діяльності мережі надання технічного сервісу і постачання запасних частин станцій технічного обслуговування (СТО) автомобілів групи Renault. В базі статистичних даних фігурують дані по відмовам, середнього напрацювання на відмову, коефіцієнт варіації. За статистичною базою даних є також можливість визначення інтегральних і диференціальних функцій напрацювання на відмову [1,4]. Експлуатаційні показники автомобілів можливо оцінити різними методами і методиками [3]. Інтерес викликає метод послідовних переваг та методика визначення критичних елементів, які необхідно реалізувати для отриманої експериментальної бази даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні якісне функціонування автомобільних сервісних систем – СТО, логістичних центрів (ЛЦ) і складів запасних частин (ЗЧ) – потребує постійного покращення методів, спрямованих на підвищення їх ефективності [1,7,9]. Це потребує використання сучасного аналізу, оцінювання та прогнозування роботи цих систем в умовах роботи автосервісу автомобілів [10-12].

На українському ринку автосервісу є ціла низка проблем [13-15]:

- недостатня відкритість підприємств та їх фінансових даних, що значно ускладнює аналіз і розроблення рішень з оптимізації виконуваних робіт;
- відсутність необхідних методик комплексної оцінки ефективності роботи СТО та прогнозування його потреби в ЗЧ.

Для цих проблем необхідне розроблення інноваційних підходів, які будуть враховувати:

час, поточний стан ринку, що дозволить вчасно планувати потребу в ЗЧ за місцями роботи СТО та дистриб'юторів сучасних автомобілів [16-18]. Економічні рамки функціонування викликають необхідність дистриб'юторам в коригуванні методів постачання ЗЧ для підтримання працездатності транспортних засобів [19,20].

На сьогодні рівень запасів ЗЧ на СТО формують за нормативами, але більш ефективним є використання статистичних і математичних методів (теорія відновлення, масового обслуговування та ін.) [21,22].

Розв'язання цих завдань потребує експериментальних досліджень, спрямованих на:

- отримання статистичних характеристик надійності елементів (вузлів, систем, агрегатів) автомобіля та витрат на ЗЧ та їх відновлення;
- визначення закономірностей розподілу відмов та формування потоків відмов;
- оцінку значущості впливу відмов на працездатність ТЗ;
- виокремлення номенклатури ЗЧ, що лімітують працездатність легкових автомобілів.

Постановка завдання. Метою даної роботи є формування і обробка статистичної інформаційної бази про експлуатаційну надійність елементів автомобілів групи Renault та визначення елементів які лімітують їх працездатність на основі уточненого методу послідовних переваг і розроблено методи його впровадження. Для реалізації мети розв'язувались наступні завдання:

1. Визначення ступеню впливу типової відмови на загальну працездатність автомобіля групи Renault.
2. Визначення ступеню впливу відмов по рівням ступеню впливу по кожному елементу автомобілів групи Renault.
3. Визначення статистичних показників зібраного масиву даних сумарних експертних оцінок.
4. Визначення масиву питомих витрат на запчастин відмовлених елементів автомобіля;
5. Відбір із вихідної множини елементів автомобіля найбільш критичних відмов і встановлення номенклатури запчастин та оцінка їх вартості.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо сутність та теоретичне обґрунтування методу послідовних переваг, який складається з п'яти етапів. На кожному з етапів з'ясовано його сутність та дано методичку визначення показників групи Renault.

1. Визначення ступеня впливу типової відмов на загальну працездатність автомобіля групи Renault. Вплив окремих елементів автомобілів на їх загальну працездатність з урахуванням критеріїв ступенів відмов виявляли таким чином:

- при впливі ступеня Q_1 відмова елемента унеможливорює експлуатацію автомобіля, тобто стан автомобіля критичний або несправний;
- при впливі ступеня Q_2 відбувається значне зниження технічної експлуатації автомобілів і такий технічний стан, що свідчить про необхідність проведення ремонту, тобто набувається несправний стан;
- при впливі ступеня Q_3 відбувається незначне відхилення параметрів технічної експлуатації автомобілів, від еталонних значень, відмову при цьому можливо трактувати як неістотне.

2. Визначення ступеню впливу відмов по рівням Q_1, Q_2, Q_3 по кожному елементу E_i у бальній оцінці та сумарний вплив відмов елементів по кожному окремому рівню Q_j :

$$\Omega_{ij} > \sum_{k=j+1}^k \Omega_{i,k}, \quad (1)$$

де i – індекс елемента автомобіля; j – показник рівня впливу відмови елементів автомобілів, $j = \overline{1, m}$; k – індекс порядкового номера елемента автомобіля, $k = (1, K)$; m – кількість рівнів відмов елементів на працездатність автомобілів ($m=3$);

n – загальне число елементів, що розглядається з позицій вимог лімітування їх працездатності;

Ω_{ij} – бальні (вагові) оцінки з точки зору чутливості даної системи, за експертним опитуванням групи спеціалістів, що мають безпосереднє відношення до підприємства автосервісу дилерської мережі СТО.

Оптимальним є наступна вимога до бальних оцінок впливу елементів на працездатність елементів:

$$\Omega_{i1} = 10 \quad ; \quad \Omega_{i2} \cap \Omega_{i3} = \left\{ \begin{array}{l} \Omega_{i2} = 8, \Omega_{i3} = 1; \Omega_{i2} = 7, \Omega_{i3} = 2 \\ \Omega_{i2} = 6, \Omega_{i3} = 3; \Omega_{i2} = 5, \Omega_{i3} = 4 \end{array} \right\} \quad , \quad \text{згідно експертного}$$

опитування.

$$\Omega_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij} \quad (2)$$

Проводиться початкова оцінка найбільш критичних елементів E_i з точки зору забезпечення загальної працездатності автомобілів:

$$\lambda_{\Omega_i} = \left\{ \begin{array}{l} \min, \text{ для } \Omega_{\Sigma_i} \Rightarrow \max \\ \max, \text{ для } \Omega_{\Sigma_i} \Rightarrow \min \end{array} \right\} \quad (3)$$

На масиві даних вагових оцінок $\{ \Omega_{ij} \}$ визначається оцінка математичного очікування $\overline{\Omega_i}$:

$$\overline{\Omega_i} = \frac{\sum_{j=1}^m \Omega_{ij}}{m} \quad (4)$$

середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma(\Omega_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Omega_{ij} - \overline{\Omega_i})^2}{m-1}} \quad (5)$$

Коефіцієнт варіації:

$$\nu(\Omega_i) = \frac{\sigma_{\Omega_i}}{\overline{\Omega_i}} \quad (6)$$

де i – індекс варіантних комбінацій бальних оцінок рівня значущості,
 m – індекс розглядуваної комбінації.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики комбінації бальних оцінок

i	$\{ \Omega_{ij} \}$	$\overline{\Omega_i}$	$\sigma(\Omega_i)$	$\nu(\Omega_i)$
1	10; 8; 1	6,33	4,726	0,746
2	10; 7; 2	6,33	4,04	0,638
3	10; 6; 3	6,33	3,512	0,555
4	10; 5; 4	6,33	3,215	0,508

Джерело: розроблено авторами

Масив бальних оцінок таблиці дозволяє проаналізувати чутливість розглянутих

комбінацій:

I: 10 – 8; 10 – 7; 10 – 6; 10 – 5;

II: 8 – 1; 7 – 2; 6 – 3; 5 – 4.

3. Визначення статистичних показників зібраного масиву даних сумарних експертних оцінок

Розглядаються наступні статистичні характеристики:

$$\text{Математичне очікування} \quad \overline{\Omega_{\Sigma}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} \Omega_{\Sigma_i}}{n_Q}; \quad (7)$$

$$\text{Середнє квадратичне відхилення} \quad \sigma(\Omega_{\Sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (\Omega_{\Sigma_i} - \overline{\Omega_{\Sigma}})^2}{n_Q - 1}}, \quad (8)$$

$$\text{де } \Omega_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij}. \quad (9)$$

Формується масив $\{K_i\}$ проведенням нормування математичного очікування Ω_{Σ_i} по середньоквадратичному відхиленню $\sigma(\Omega_{\Sigma})$:

$$K_i = \frac{\Omega_{\Sigma_i}}{\sigma(\Omega_{\Sigma})}. \quad (10)$$

4. Визначення масиву, питомих витрат на запасні частини відмовлених елементів автомобілів.

Для масиву S_{Σ_i} , $i = \overline{1, n_s}$ визначаємо математичне очікування питомих витрат:

$$\overline{S_{\Sigma}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} S_{\Sigma_i}}{n_s}. \quad (11)$$

Середнє квадратичне відхилення питомих витрат дорівнює:

$$\sigma(S_{\Sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_s} (S_{\Sigma_i} - \overline{S_{\Sigma}})^2}{n_s - 1}}, \quad (12)$$

де $S_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^m S_{ij}$. На даному етапі $n_Q = n_s$

Формуємо масив $\{M_i\}$ шляхом нормування масиву питомих затрат S_{Σ_i} :

$$M_i = \frac{S_{\Sigma_i}}{\sigma(S_{\Sigma})}. \quad (13)$$

5. Відбір із вихідної множини елементів $\{E_i\}$ автомобілів найбільш критичних відмов і встановлення номенклатури і вартості запчастин.

Проведемо оцінку варіацій $v(K)$ і $v(M)$, відповідно:

$$(K) = \sigma(K)/\overline{K}; v(M) = \sigma(M)/\overline{M}, \quad (14)$$

де математичне очікування і середньоквадратичне відхилення для $\{K_i\}$ і $\{M_i\}$

визначаються за формулами:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} K_i}{n_Q - 1}, \quad \sigma(K) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (K_i - \bar{K})^2}{n_Q - 1}}; \quad (15)$$

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^{n_S} M_i}{n_S}, \quad \sigma(M) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_S} (M_i - \bar{M})^2}{n_S - 1}}. \quad (16)$$

Зазначимо, що для критичних елементів ($(M) < 0,4$) використовують порогові значення $\bar{K}_\gamma^H$ і $\bar{M}_\gamma^H$ для нормального розподілу K_i і M_i .

Якщо $v(M) \geq 0,4$ – то застосовується закон Гамма-розподілу.

Для нормального закону для K_i і M_i нижні довірчі межі визначаються наступним чином:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - z_\gamma \cdot \frac{\sigma(K_i)}{\sqrt{n_K}}; \quad (17)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - z_\gamma \cdot \frac{\sigma(M_i)}{\sqrt{n_M}}; \quad (18)$$

У свою чергу для Гамма-розподілу K_i і M_i нижні довірчі межі $\bar{K}_\gamma^H$ і $\bar{M}_\gamma^H$ визначаються за формулами:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{K}}{\sqrt{n_K \cdot \eta_K}}; \quad (19)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{M}}{\sqrt{n_M \cdot \eta_M}}. \quad (20)$$

де $\gamma \geq 0,9$, z_γ – нормована випадкова величина для ймовірності σ :

$$\eta_K = \frac{\bar{K}^2}{\sigma^2(K)}; \quad (21)$$

$$\eta_M = \frac{\bar{M}^2}{\sigma^2(M)}. \quad (22)$$

В результаті отримуємо значення нижніх довірчих меж $\bar{K}_\gamma^H$ і $\bar{M}_\gamma^H$, що дозволяє здійснити відбір номенклатури елементів, які впливають на працездатність автомобілів:

$$K_i \geq \bar{K}_\gamma^H; \quad M_i \geq \bar{M}_\gamma^H. \quad (23)$$

при цьому може виконуватись умова $n_K = n_M$, якщо $K_i \geq \bar{K}_\gamma^H$.

Працездатність автомобіля визначається за формулою:

$$R_i = K_i \cdot M_i. \quad (24)$$

Визначення нижньої довірчої границі $\bar{R}_\gamma^H$ відповідно дорівнює:

$$\bar{R}_\gamma^H = \bar{R} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{R}}{\sqrt{n_R \cdot \eta_R}}. \quad (25)$$

З цього слідує, що η_{R_i} :

$$\eta_{R_i} = \frac{\bar{R}^2}{\sigma^2(R)}. \quad (26)$$

На прикладі автомобіля Renault Dokker наведено оцінки показників вибраних елементів.

Таблиця 2 – Оціночні показники відібраних елементів автомобіля Renault Dokker

№ п/п	Найменування елемента	Позначення елемента, E_i	Вартість ЗЧ, S_i у.о.	Середнє напрацювання на відмову, L_i , т.км.	Питомі витрати на ЗЧ $S_{\text{пит}}$, у.о./1000км
1	Втулки переднього стабілізатора	E_1	5	75	0.066
2	Стійки переднього стабілізатора	E_2	20	75	0.266
3	Опора двигуна права	E_3	90	80	1.125
4	Важелі передньої підвіски	E_4	80	75	1.066
5	Сайлентблоки задньої балки	E_5	15	100	0.15
6	Гальмівні диски передні	E_6	55	90	0.61
7	Наконечники рулевих тяг	E_7	15	50	0.30
8	Рульова рейка	E_8	1000	180	5.5
9	Передні амортизатори	E_9	150	80	1.875
10	Опорні підшипники	E_{10}	60	80	0.75
11	Задні амортизатори	E_{11}	100	100	1
12	Зчеплення КПП	E_{12}	130	150	0.86
13	Стартер	E_{13}	90	200	0.45
14	Ремінь ГРМ з роликами	E_{14}	90	120	0.75
15	Ремінь полікліновий з роликами	E_{15}	60	120	0.5
16	Помпа	E_{16}	55	120	0.45
17	Турбокомпресор	E_{17}	450	250	1.8
18	Калібрування і ремонт паливних форсунок	E_{18}	400	250	1.6

Джерело: розроблено авторами

Аналогічні оціночні показники відібраних елементів приведені по автомобілям Renault Express і Renault Master.

Для відібраних елементів автомобіля Renault Dokker побудовано графіки зміни середнього напрацювання на відмову (рис. 1), розподіл вартості запчастини (рис. 2), розподіл питомих витрат по елементах автомобіля (рис.3).

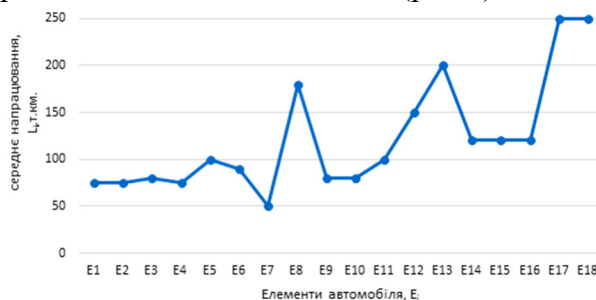


Рисунок 1 – Середнє напрацювання елементів автомобіля Renault Dokker на відмову

Джерело: розроблено авторами

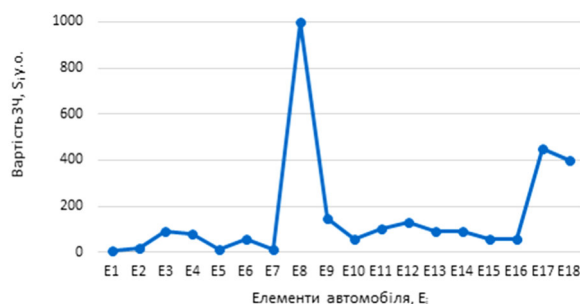


Рисунок 2 – Вартість відібраних елементів автомобіля Renault Dokker

Джерело: розроблено авторами

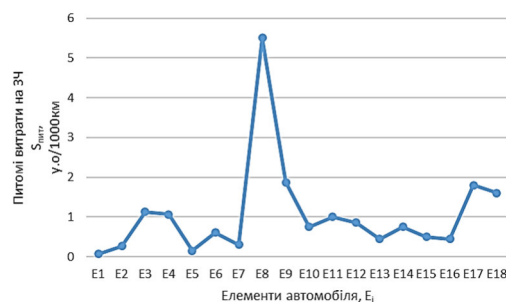


Рисунок 3 – Питомі витрати елементів що замінюються запасними частинами автомобіля Renault Dokker
Джерело: розроблено авторами

Можна бачити, що виділяються елементи з достатньо високим значенням цих показників. Про це свідчить і залежність вартості запасних частин від середнього напрацювання на відмову (рис. 4).



Рисунок 4 – Залежність абсолютних витрат на запасні частини від напрацювання на відмову автомобіля Renault Dokker

Джерело: розроблено авторами

По даним залежності (рис.4) побудовано рівняння регресії:

$$y = 0.1461x^4 - 4.8464x^3 + 48.61x^2 - 135.23x + 110.93; \quad R^2 = 0.258. \quad (27)$$

Аналогічно результати отримані по автомобілям Renault Express і Renault Master.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики комбінації бальних оцінок

№ п/п	Ω_{ij}	$\bar{\Omega}$	$\sigma(\Omega_i)$	$\nu(\Omega_i)$	K
1	3	3	0	0	
2	3;9	3	0	0	
3	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
4	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
5	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
6	10;6	8	2,82	0	
7	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
8	10;6	8	2,82	0	
9	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
10	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
11	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
12	10	10	0	0	
13	6;3	4,5	2,12	0,47	2,83; 1,41
14	10	10	0	0	
15	10	10	0	0	
16	10;6	8	2,82	0,47	2,83; 1,41
17	10;6	8	2,82	0,47	2,83; 1,41
18	10;6;3	6,33	3,04	0,48	3,28; 1,97; 0,98

Джерело: розроблено авторами

Використовуючи зазначену методику побудовано масив статистичних характеристик комбінації бальних оцінок (табл. 3) та виявлені елементи, які лімітують працездатність автомобіля Renault (табл.4).

Таблиця 4 – Виявлення елементів, які лімітують працездатність автомобіля Renault Dokker

№ п/п	Найменування елемента	Позначення елемента	Нормування значення бальних оцінок	Нормування масиву питомих витрат	Значимість (інтегральна) елементів	Нижня межа результуючої ознаки	Елементи лімітуючі працездатність
			K_i	M_i	R_i	$\overline{R}_\gamma^H$	E_i
1	Втулки переднього стабілізатора	E_1	0.613	0.006	0.003	0.243	
2	Стійки переднього стабілізатора	E_2	0.613	0.023	0.014		
3	Опора двигуна права	E_3	1.84	0.112	0.206		
4	Важелі передньої підвіски	E_4	1.84	0.096	0.176		
5	Сайлентблоки задньої балки	E_5	1.84	0.013	0.023		
6	Гальмівні диски передні	E_6	3.27	0.055	0.179		
7	Наконечники рулевих тяг	E_7	3.88	0.027	0.104		
8	Рульова рейка	E_8	3.88	0.495	1.920		E_8
9	Передні амортизатори	E_9	1.84	0.168	0.309		E_9
10	Опорні підшипники	E_{10}	1.84	0.067	0.123		
11	Задні амортизатори	E_{11}	1.84	0.090	0.165		
12	Зчеплення КПП	E_{12}	2.04	0.077	0.157		
13	Стартер	E_{13}	2.04	0.040	0.081		
14	Ремінь ГРМ з роликами	E_{14}	2.04	0.067	0.136		
15	Ремінь полікліновий з роликами	E_{15}	2.04	0.044	0.089		
16	Помпа	E_{16}	3.27	0.040	0.131		
17	Турбокомпресор	E_{17}	3.27	0.162	0.529		E_{17}
18	Калібрування і ремонт паливних форсунок	E_{18}	3.88	0.144	0.558		E_{18}

Джерело: розроблено авторами

Виявлено нелінійний характер залежності нормованих значень питомих витрат від нормування значень бальних оцінок. Дані нормування масивів $\{M_i\}$ і $\{K_i\}$ використано для графічної інтерпретації (рис. 5).

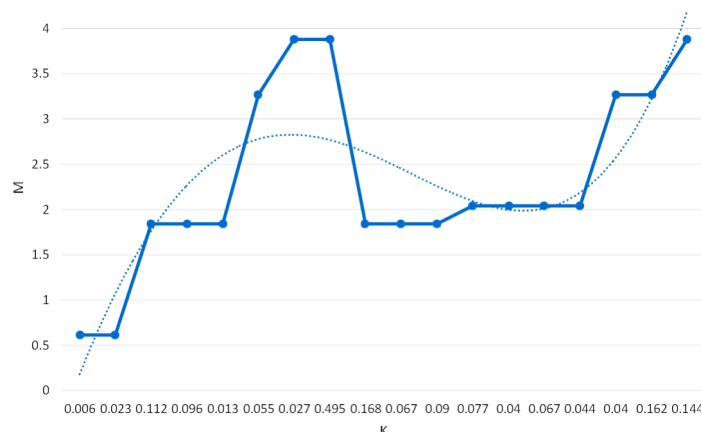


Рисунок 5 – Залежність нормованих значень питомих витрат від нормування значень бальних оцінок групи відмов елементів автомобіля групи Renault

Джерело: розроблено авторами

Отримано відповідне рівняння регресії:

$$M = 0.0001K^4 + 0.0008K^3 - 0.1082K^2 + 1.2099K - 0.9242; R=0.427. \quad (28)$$

Це рівняння свідчить про нелінійну залежність взаємозв'язку нормованих значень питомих витрат оцінок ресурсовизначальних відмов.

Висновки. 1. Теоретично обґрунтовано використання методів послідовних переваг у ресурсовизначальних відмовах елементів (вузлів, систем, агрегатів) автомобілів групи Renault. Реалізація методу складається з п'яти етапів, на кожному з яких дано його специфіку і теоретичне представлення у вигляді аналітичних виразів.

2. Показано, що для реалізації методу послідовних переваг відмов ресурсовизначальних елементів доцільно використати статистичні показники масивів отриманих даних: математичне очікування, середнє квадратичне відхилення, характерний масив $\{M_i\}$ і $\{K_i\}$ нормування бальних оцінок відмов і питомих витрат на запасні частини.

3. Розроблено методику визначення критичних елементів, використовуючи порогові значення різного типу розподілу (нормальний розподіл, Гамма-розподіл, лінійний розподіл та ін.) отриманих масивів $\{M_i\}$ і $\{K_i\}$ та їх нижні і верхні довірчі межі, працездатність автомобілів та її довірчі межі та ін.

4. На прикладі автомобілів групи Renault наведено оцінки показників вибраних елементів: вартість запасних частин, середнє напрацювання на відмову, питомі витрати на запчастини, побудовано розподіл цих показників, а також залежність вартості запчастин від середнього напрацювання на відмову. Розроблена методика дала можливість визначити елементи автомобілів групи Renault, що лімітують їх працездатність: E8, E9, E17, E18 (для автомобіля Renault Dokker). Аналогічно проведені дослідження для інших автомобілів групи Renault. Визначено доцільним ці елементи перевести в ранг запасних частин.

Список літератури

1. Тищенко С. Ю., Аулін В. В., Гриньків А. В. Виявлення типових відмов елементів автомобілів групи Renault та обґрунтування вибору запасних частин. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 371–381. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.371-381](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.371-381).
2. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 28 с.
3. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Міронов Д.В., Слободян Л.М., Рогатинський Р.М. Оптимальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин. *Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. № 8(39), Ч. II. 2023. С. 175–189.
4. Ложачевська О. М., Григоренко Р. В. Узагальнена класифікація послуг сучасного автосервісу. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2018. Т. 29 (68), № 2. С. 31–36.

5. Damand D., Lahrichi Y., Barth M. A simulation-optimization approach to parameterize Demand-Driven Material Requirements Planning. *IFAC PapersOnLine*. 2022. Vol. 55. P. 263–268. doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.626.
6. Saccani N., Pna M., Persson F. Spare parts classification and inventory decisions: a preliminary study. 2015.
7. Аулін В. В., Ляшук О. Л., Гриньків А. В., Цьонь О. П., Гудь В. З., Головатий А. О., Тищенко С. Ю., Сергійчук А. А. Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 9(40), ч. II. С. 204–218. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.204-218](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.204-218)
8. Андрусенко С. І., Бугайчук О. С. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу. К.: 2014. 328 с.
9. Poliakov A., Antonyuk O., Ratsyborynskiy V. Identification of improvement ways of estimation method for nomenclature and quantity of spare parts. *Tehnomus. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies. Journal*. 2013. № 20. P. 34–39.
10. Тищенко С. Ю., Сергійчук А. А., Аулін В. В., Гриньків А. В. Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : наук. зб. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. Вип. 11(42), ч. 1. С. 243–257. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.243-257](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.243-257)*
11. Аулін В. В., Тищенко С. Ю., Гриньків А. В. Інноваційні рішення в складській логістиці. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : наук. зб. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. Вип. 10(41), ч. 1. С. 270–285. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.270-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.270-285)*
12. Очеретенко С. В., Ocheretenko S., Korovko V., Zhatkanbaeva E. Особливості формування замовлень автозапчастин при багатомономенклатурному керуванні. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава : ПНТУ, 2023. Т. 2(72). С. 35–38. <http://journals.nupr.edu.ua/sunz/article/view/2952>.
13. Курніков І. П. Управління запасами автосервісів в умовах невизначеності попиту. *Автомобіліст України*. 2002. № 1. С. 15–17.
14. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко В.О. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Technical service of agriculture, forestry and transport systems*. 2020. №22. С. 162 – 174.
15. Біліченко В. В., Антонюк О. П. Обґрунтування критеріїв оцінки ефективності вибору запасних частин, що зберігаються на складі АТП для підтримки в справному стані його рухомого складу. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 56–60. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_2_11.
16. Очеретенко С. В. До питання про управління запасами автомобільних запчастин на торгових підприємствах. *Комуніальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018. Вип. 142. С. 114–118. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_23.
17. Очеретенко С. В. Управління складськими запасами та їх оптимізація на підприємствах по ремонту автомобілів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Вип. 2(64). С. 50–52. DOI: doi.org/10.26906/SUNZ.2021.2.050.
18. Кривцун В. І., Баранов А. М. Аналіз методів визначення номенклатури та кількості запасних частин, що застосовуються для технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння. *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, 2015. № 2. С. 36–48.
19. Кашканов А., Москалюк М. Невизначеність та її вплив на формування запасів запасних частин для забезпечення ефективності транспортних процесів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2025. Вип. 20(2). С. 74–80.
20. Кривцун В. І., Баранов А. М. Аналіз методів визначення номенклатури та кількості запасних частин, що застосовуються для технічного обслуговування і ремонту машин інженерного озброєння. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2016. Вип. 2. С. 36–48.
21. Bacchetti A., Saccani N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*. 2012. Vol. 40, No. 6. P. 722–737.
22. Коробочка О. М., Чернишов О. В., Трикіло А. І., Бурінчик О. О. Моделювання складських запасів на станціях технічного обслуговування автомобілів. *Математичне моделювання*. 2023. № 2(49). С. 133–141.

References

1. Tyshchenko, S. Yu., Aulin, V. V., & Hryn'kiv, A. V. (2025). Detection of typical failures of Renault group vehicle components and substantiation of spare parts selection. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42)(2), 371–381. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.371-381](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.371-381) [in Ukrainian].
2. DSTU 3649:2010. (2011). Wheeled vehicles. Safety requirements for technical condition and control methods. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
3. Aulin, V. V., Liashuk, O. L., Hryn'kiv, A. V., Lysenko, S. V., Mironov, D. V., Slobodyan, L. M., & Rohatynskiy, R. M. (2023). Optimal set of maintenance and repair operations to improve the reliability of machine units, systems and assemblies. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39)(II), 175–189 [in Ukrainian].
4. Lozhachevska, O. M., & Hryhorenko, R. V. (2018). Generalized classification of modern auto service types. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Ekonomika i upravlinnya*, 29(68)(2), 31–36 [in Ukrainian].
5. Damand, D., Lahrichi, Y., & Barth, M. (2022). A simulation-optimization approach to parameterize demand-driven material requirements planning. *IFAC PapersOnLine*, 55, 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.626>
6. Saccani, N., Pna, M., & Persson, F. (2015). Spare parts classification and inventory decisions: A preliminary study.
7. Aulin, V. V., Liashuk, O. L., Hryn'kiv, A. V., Tsyon', O. P., Hud', V. Z., Holovatyi, A. O., Tyshchenko, S. Yu., & Serhiichuk, A. A. (2024). Formation of logistic information system for effective management of transport and

- production enterprises. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 9(40)(II), 204–218. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.204-218](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.204-218) [in Ukrainian]
8. Andrusenko, S. I., & Buhaichuk, O. S. (2014). Business process modeling of auto service enterprise. Kyiv [in Ukrainian].
 9. Poliakov, A., Antonyuk, O., & Ratsyborynskiy, V. (2013). Identification of improvement ways of estimation method for nomenclature and quantity of spare parts. *Tehnomus. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*, 20, 34–39.
 10. Tyshchenko, S. Yu., Serhiichuk, A. A., Aulin, V. V., & Hryn'kiv, A. V. (2025). Methods for determining service enterprise spare parts demand and development of methodology for their influence on vehicle operability. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42)(1), 243–257. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.243-257](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.243-257) [in Ukrainian]
 11. Aulin, V. V., Tyshchenko, S. Yu., & Hryn'kiv, A. V. (2024). Innovative solutions in warehouse logistics. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 10(41)(1), 270–285. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.270-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.270-285) [in Ukrainian].
 12. Ocheretenko, S. V., Ocheretenko, S., Korovko, V., & Zhatkanbaeva, E. (2023). Features of spare parts ordering under multi-nomenclature management. *Systemy upravlinnia, navihatsiyyi ta zv'yazku*, 2(72), 35–38. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/2952> [in Ukrainian]
 13. Kurnikov, I. P. (2002). Inventory management for auto service enterprises under demand uncertainty. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*, 1, 15–17 [in Ukrainian].
 14. Aulin, V. V., Hryn'kiv, A. V., Lysenko, S. V., Livitskiy, O. M., Holovaty, A. O., & Diachenko, V. O. (2020). Principles of construction and functioning of cyber-physical maintenance system for automotive and agricultural machinery. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv. Technical Service of Agriculture, Forestry and Transport Systems*, 22, 162–174 [in Ukrainian].
 15. Bilichenko, V. V., & Antonyuk, O. P. (2016). Justification of criteria for evaluating the efficiency of spare parts selection for fleet maintenance. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 2, 56–60. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_2_11 [in Ukrainian].
 16. Ocheretenko, S. V. (2018). On spare parts inventory management in automotive trade enterprises. *Komunalne hospodarstvo mist. Tekhnichni nauky ta arkhitektura*, 142, 114–118. nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_23 [in Ukrainian].
 17. Ocheretenko, S. V. (2021). Warehouse stock management and optimization in automotive repair enterprises. *Systemy upravlinnia, navihatsiyyi ta zv'yazku*, 2(64), 50–52. doi.org/10.26906/SUNZ.2021.2.050 [in Ukrainian]
 18. Kryvtun, V. I., & Baranov, A. M. (2015). Analysis of methods for determining spare parts nomenclature and quantity for engineering equipment maintenance. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 2, 36–48 [in Ukrainian].
 19. Kashkanov, A., & Moskaliuk, M. (2025). Uncertainty and its influence on spare parts inventory formation for effective transport processes. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 20(2), 74–80 [in Ukrainian].
 20. Kryvtun, V. I., & Baranov, A. M. (2016). Methods of determining spare parts nomenclature and quantity for engineering vehicle maintenance and repair. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 2, 36–48 [in Ukrainian].
 21. Bacchetti, A., & Sacconi, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722–737.
 22. Korobochka, O. M., Chernyshov, O. V., Trykilo, A. I., & Burinchyk, O. O. (2023). Modelling of warehouse inventory at vehicle service stations. *Matematychni modeliuvannia*, 2(49), 133–141 [in Ukrainian].

Serhii Tyshchenko, Viktor Aulin, Prof., Dr. Tech. Sci., Andrii Hryn'kiv, Sr. Researcher, PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Identification of Elements that Limit the Performance of Renault Group Vehicles Based on Statistical Information on Failures

The use of sequential advantage methods in resource-determining failures of elements (units, systems, units) of Renault group cars is theoretically justified. The implementation of the method consists of five stages, each of which gives its specifics and theoretical representation in the form of analytical expressions. It is shown that for the implementation of the method of sequential advantage of failures of resource-determining elements it is advisable to use statistical indicators of the obtained data arrays: mathematical expectation, mean square deviation, characteristic array $\{M_i\}$ and $\{K_i\}$ normalization of failure scores and specific costs for spare parts. A method for determining critical elements is developed using threshold values of different types of distribution (normal distribution, Gamma distribution, linear distribution, etc.) of the obtained arrays $\{M_i\}$ and $\{K_i\}$ and their lower and upper confidence limits, car performance and its confidence limits, etc. Using the example of Renault group cars, estimates of the indicators of selected elements are given: the cost of spare parts, the average time to failure, the specific costs of spare parts, the distribution of these indicators is constructed, as well as the dependence of the cost of spare parts on the average time to failure. The developed methodology made it possible to determine the elements of Renault group cars that limit their performance: E8, E9, E17, E18 (for the Renault Dokker car). Similarly, studies were conducted for other Renault group cars. It was determined that it would be appropriate to transfer these elements to the rank of spare parts.

car, element, performance, failure, statistical information, statistical indicators, spare parts

Одержано (Received) 25.11.2025

Прорецензовано (Reviewed) 28.11.2025

Прийнято до друку (Approved) 12.12.2025