

С. Ю. Тищенко, А. А. Сергійчук, В. В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
А. В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: AulinVV@gmail.com

Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілів

Стаття присвячена методам визначення потреб підприємства автосервісу в запчастинах та розробці методики їх підбору та впливу на загальну працездатність легкових автомобілів. Розглянуто групи номенклатури запасних частин. Визначено ряд статистичних показників, фактичної і нормативної потреби підприємства автосервісу в запасних частинах. Визначено коефіцієнт їх використання. Розроблено методику оцінки ступеню впливу елемента (деталі, вузла, системи, агрегату) автомобіля на його працездатність. Запропоновано п'ять етапів реалізації методики. На першому етапі визначається вплив ресурсовизначальних відмов на стан автомобіля. На другому етапі здійснюється оцінка впливу відмов деталей, вузлів, систем і агрегатів в балах на загальну працездатність автомобіля. На третьому етапі визначаються статистичні показники зібраного масиву бази даних експертних оцінок. На четвертому етапі визначається масив витрат на придбання запасних частин в системі дистрибуції, щоб підтримати працездатність автомобіля. На п'ятому етапі розв'язується завдання відбору з вихідної номенклатури елементів легкових автомобілів найбільш критичних і значущих з точки зору наслідків відмови та вартості їх придбання. Сформульовані відповідні умови для визначення елементів, що істотно обмежують працездатність легкових автомобілів. Методику апробовано на легкових автомобілях марки Renault.
легковий автомобіль, технічний стан, відмова, елемент, запасна частина, методика оцінки впливу, працездатність автомобіля

Постановка проблеми. Найважливішою умовою функціонування станцій технічного обслуговування (СТО) і системи дистрибуції постачання запасних частин легкових автомобілів є узгодження їх роботи спрямованої на підвищення ефективності. Вимагається також розробка відповідних методів аналізу ресурсовизначальних деталей, вузлів, систем і агрегатів автомобілів з оцінюванням і прогнозуванням поведінки систем СТО та дистрибуції запасних частин. Необхідні і методи оцінок та прогнозування їхньої поведінки в динамічних умовах функціонування.

Для ринку автосервісного обслуговування [1] та дистрибуційних систем постачання запасних частин в умовах України наявні наступні проблеми:

- спостерігається ізольованість функціонування СТО та їх фінансової документації, що обмежує і ускладнює методи збирання та аналізу інформації для дослідження принципів і характерних функцій, що дозволяє розробити та запропонувати інноваційні підходи ефективної роботи в мережі СТО і систем дистрибуції запасних частин;
- відсутні методики [2], що надають можливість проводити оцінку ефективності функціонування в мережі СТО та системи дистрибуції постачання запасних частин на основі кількісних і якісних показників, та обсягу потреб у запасних частинах (ЗЧ).

Вищевикладені проблеми потребують формування інноваційних принципів та методик, а також новітніх підходів та реальних рекомендацій. Всі ці заходи спрямовані на підвищення ефективності роботи СТО з урахуванням сукупності факторів, стану ринкової системи, оперативного планування постачання ЗЧ та їх просування в системі дистрибуції в межах ділової активності СТО.

На сьогодні в економічній ситуації України вимагають дистрибуційні системи переглянути їх методи постачання ЗЧ на СТО для забезпечення належного рівня працездатності транспортних засобів(ТЗ).

Варто зазначити, що використовується нормативний підхід до рівня забезпечення системою дистрибуції СТО запасними частинами. При цьому процес постачання ЗЧ ґрунтується на нормативній документації. Як показує практика нормативний метод не завжди успішним, оскільки містить методики планування з використанням елементів прикладної математики: теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії масового обслуговування та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні в Україні успішно функціонує система матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) [3]. Раніше основними постачальниками запасних частин (ЗЧ) та експлуатаційних матеріалів були мережеві державні склади. Перехід від централізованої до ринкової системи постачання автокомпонентів здійснювався з урахуванням досвіду зарубіжних виробників автомобілів та постачальників. У результаті сучасна система МТЗ в Україні значною мірою відповідає міжнародним стандартам [4].

На одному з етапів переходу було залучено іноземних виробників, які адаптували систему постачання відповідно до свого досвіду та особливостей українського ринку [5,6]. Головним завданням будь-якої сучасної дилерської мережі є створення сприятливих умов для клієнтів, що забезпечують їхнє повне задоволення [1,6]. Такий підхід сприяє формуванню позитивного іміджу торгової марки та підвищенню рівня продажів.

Досягнення цільових показників дилерів залежить від надання якісного післяпродажного обслуговування, що є ключовим критерієм задоволеності клієнтів. Це, своєю чергою, потребує ефективної системи постачання автокомпонентів. Організація роботи дилерської мережі автосервісів як в Україні, так і за кордоном, ґрунтується на єдиних принципах. Центральний склад дистрибуційної системи виробника автомобілів та компонентів зазвичай містить до 85% номенклатури ЗЧ, необхідних для обслуговування транспортних засобів у зоні його впливу. Далі робота організовується через регіональні склади, які забезпечують безперебійну роботу дилерських центрів протягом кількох місяців [7].

Однією з ключових вимог для функціонування дистрибуційної системи є використання оригінальних ЗЧ. Вони вважаються такими, якщо їх виробник є офіційним постачальником вузлів або агрегатів для заводів-виробників конкретних марок автомобілів [8].

Попри численні переваги офіційної системи постачання, вона має і певні недоліки [9,10]:

- тривалі терміни виконання замовлень (до 5 тижнів) при доставці із центрального складу виробника;
- зростання конкуренції з боку виробників аналогів та оптових постачальників неоригінальних ЗЧ;
- залежність від актуальних даних щодо кількості автомобілів певної марки в регіоні;
- обмежена цінова політика офіційних дистриб'юторів;
- залежність дилерів від регіональних та центральних складів дистриб'юторської системи.

Питання забезпечення автомобільного ринку ЗЧ розглянуто в працях як вітчизняних, так і зарубіжних авторів, проте науково обґрунтовані методи визначення потреб у ЗЧ та вибору критичних елементів транспортних засобів ще не повністю

розроблені [11-13].

Відмова від централізованої вертикальної системи забезпечення ЗЧ сприяла формуванню горизонтальних зв'язків між підприємствами. Перевагами такої системи є зниження надлишкових запасів ЗЧ, усунення дефіциту та неліквідних позицій. Водночас зростання транспортних витрат і ризик простою автомобілів через нестачу необхідних деталей створюють певні труднощі [14].

Основною відмінністю системи постачання ЗЧ в Україні від зарубіжної є велика кількість посередницьких організацій, що виникла через стихійний розвиток ринку та відносно низький рівень доходів населення [15]. Останнім десятиліттям система постачання автомобілів ЗЧ зазнала значних змін, сформувалася багатоканальна взаємодія між учасниками ринку, а дилерські мережі виробників стали міцнішими [16].

Посилення конкуренції з боку незалежних підприємств автосервісу (приватні СТО та майстерні) вплинуло на дилерські центри [17]. Забезпечення ЗЧ таких підприємств здійснюється через офіційних постачальників, дилерські мережі, незалежні магазини, ринки та продавців уживаних ЗЧ. Низькі ціни на послуги незалежних СТО (до 2–2,5 разів дешевші, ніж у дилерських центрах) сприяють їхній популярності серед споживачів.

Важливу роль у системі постачання відіграють незалежні субпостачальники, що виготовляють комплектуючі для заводів-виробників [18,19]. Вони постачають ЗЧ через дилерські мережі, оптові компанії та незалежні магазини.

Основними конкурентами офіційних дилерів залишаються виробники аналогів та продавці уживаних ЗЧ [20,21]. Крім того, значна кількість агентських фірм відіграє роль посередників між виробниками та споживачами, реалізуючи ЗЧ як оптом, так і в роздріб [22,23].

У сучасних умовах агентські фірми та системи дистрибуції активно використовують інтернет-ресурси. Онлайн-магазини з каталогами ЗЧ та їх аналогів забезпечують зручний пошук і можливість самостійного замовлення з доставкою. Такий підхід дозволяє агентським фірмам конкурувати з дилерськими мережами та займати лідерські позиції на ринку автомобільних ЗЧ.

Постановка завдання. Метою дослідження є з'ясування методів визначення потреб у ЗЧ та розробка методики забезпечення деталей, вузлів, систем, агрегатів легкових автомобілів, що лімітують їх працездатність для впровадження її в мережу станцій техобслуговування з системою дистрибуції постачання запасних частин та розробка інноваційних рішень. Для реалізації мети в роботі розв'язувались наступні завдання:

1. Обґрунтувати методи визначення відмов автомобілів на підприємствах СТО та потреб в запасних частинах автомобілів в системі дистрибуції;

2. Розробити методику визначення та постачання деталей, вузлів, систем, агрегатів легкових автомобілів, що обмежують їх працездатність.

Викладення основного матеріалу. Пропонується розділення системи автосервісу на три групи в залежності від кількості постів обслуговування. Важливим фактором є і те, що запропоновано методику поділу всієї номенклатури наявних ЗЧ та агрегатів на три групи: А, В, С відповідно. Даний метод широко відомий і досі застосовується на практиці при узгодженні і управлінні потребою ЗЧ мереж системою автосервісу та системою дистрибуції ЗЧ. Суть даного поділу всієї номенклатури ЗЧ полягає в наступному.

Група А являє собою деталі, вузли та агрегати, що мають високий попит на даному пункті обслуговування та ремонту. Залежно від підприємства автосервісу частка таких ЗЧ із загальної номенклатури становить від 10 до 20%. Мається на увазі,

що цей перелік деталей найчастіше виходив з ладу і група деталей дозволяє усувати більшу частину несправностей, а вартість цих деталей може досягати до 75-85% від загальної вартості всієї номенклатури ЗЧ, споживаних підприємством автомобільного сервісу.

До групи В включені деталі, вузли та агрегати середнього попиту. До неї віднесено близько 30% загальної номенклатури ЗЧ. Вартість цієї частини ЗЧ не перевищує 30% загальної вартості всієї номенклатури ЗЧ, що споживається підприємством.

До групи С відносяться виключно деталі, що мають рідкісний попит (понад 60% загальної номенклатури ЗЧ). Зазвичай вартість деталей, вузлів або агрегатів, віднесених до цієї групи, не перевищує 7% загальної вартості всього асортименту ЗЧ, що споживається автосервісним підприємством.

Розподіл ЗЧ за групами ґрунтується насамперед на показниках статистики їхньої витрати за попередній звітний період. Також обов'язково враховуються такі показники, як: поточний показник попиту на кожну номенклатуру та характер його руху за умов існуючої системи дистрибуції.

Пропонується визначати потребу у ЗЧ автосервісу в такий спосіб. Необхідна кількість ЗЧ визначається по кожному окремому типу ТЗ залежно від його віку. Потім запланована кількість ТЗ, очікуваних до відвідування сервісного центру, множиться на заплановану кількість ЗЧ необхідних до виконання операцій технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Таким чином, для визначення рівня потреби підприємства автомобільного сервісу має бути визначено виходячи зі структури парку ТЗ, а саме їх кількості та віку, у т.ч. обсягу ЗЧ споживаних підприємством під час провадження виробничої діяльності, і навіть під час проведення робіт ТО і поточного ремонту (ПР).

Нормативне значення питомої потреби в запасних частинах (ЗЧ) для підприємств автомобільного сервісу, таких як СТО, визначається через нормативне число ЗЧ $Q_{инор}$. Це значення встановлюється відповідно до номенклатурних норм $A_{инор}$ та розраховується для певної кількості автомобілів, що перебувають у зоні обслуговування підприємства.

Фактична питома потреба у ЗЧ визначається як відношення кількості запасних частин $Q_{иф}$, фактично витрачених на ремонт, до кількості автомобілів $A_{иф}$, які реально пройшли обслуговування:

$$K_{инор} = \frac{Q_{инор}}{A_{инор}}, K_{иф} = \frac{Q_{иф}}{A_{иф}}. \quad (1)$$

Коефіцієнт використання запасних частин характеризує співвідношення між фактичною витратою запасних частин та їхньою питомою потребою в мережі СТО. Він відображає ефективність використання ЗЧ у процесі технічного обслуговування та ремонту:

$$\eta = \frac{K_{иф}}{K_{инор}}, \quad (2)$$

Якщо значення цього показника наближається до 1, це свідчить про оптимальність запасів ЗЧ відповідно до нормативних вимог η_n . Водночас, за таких умов зростає ризик дефіциту ЗЧ η_o , що може обмежити можливість обслуговування автомобілів і, як наслідок, зменшити їхню кількість у процесі ремонту та технічного обслуговування:

$$\eta_n \leq \eta \leq \eta_o. \quad (3)$$

Для розрахунку потреби в запасних частинах (ЗЧ) для підприємства автосервісу

необхідно визначити значення відповідних коефіцієнтів η_n , η_o , а також планову величину коефіцієнта використання ЗЧ η_n .

Планова величина коефіцієнта використання ЗЧ обчислюється за такою формулою:

$$K_{\Pi} = K_{\text{нор}} \eta_{\Pi}. \quad (4)$$

Залежність, що дозволяє визначити генеральну характеристику, базується на вибірковій характеристиці та використовує квантиль нормального розподілу U_{α} , відповідний обраній довірчій ймовірності α .

Формула для визначення генеральної характеристики має вигляд:

$$Q_a = \sum_{i=1}^m A_{in} \cdot K_{in} + U_{\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^m A_{in} \cdot K_{in}}, \quad (5)$$

де A_{in} – плановане значення чисельності різного вікового складу автомобілів; K_{in} – плановане значення питомої потреби у ЗЧ того ж вікового інтервалу автомобілів.

Встановлено також залежність між пропускною спроможністю окремого поста обслуговування автомобілів, віковими характеристиками (пробігом) рухомого складу (РС) та витратами ЗЧ на підприємстві автосервісу з урахуванням його виробничої потужності.

Сукупна потреба в ЗЧ, вузлах і агрегатах j -ої номенклатури для конкретного регіону Q_p , за умови, що її визначення здійснюється на основі показників СТО регіону, становить:

$$Q_p = Q \left(1 + \frac{\sum_{n=0}^{\kappa} n_p}{\sum_{n=0}^m n_e} \right), \quad (6)$$

де n – на СТО кількість робочих постів; $\sum n_p$ – сумарна кількість робочих постів; $\sum n_e$ – на СТО сумарна кількість робочих постів.

Серед значної кількості методик визначення потреби в запасних частинах (ЗЧ) для підприємств автомобільного сервісу найбільш оптимальним є методичний підхід, заснований на поточному ринковому попиті. Основною передумовою проведення розрахунків у межах цієї методики є абсолютна достовірність вхідних даних щодо рівня попиту та особливостей функціонування системи дистрибуції ЗЧ.

Попит на ринку може зазнавати як незначних, так і критичних коливань, спричинених впливом зовнішніх факторів. Для їх компенсації зазвичай формуються певні запаси ЗЧ, вузлів і агрегатів. Однак надмірне накопичення таких запасів може призводити до утворення так званих «мертвих запасів», що негативно впливає на економічні показники підприємства.

Таким чином, сучасні методики визначення потреби в ЗЧ для мережі СТО потребують розроблення високоточної методики, яка враховуватиме широкий спектр зовнішніх факторів та їхній ступінь впливу.

У межах цього дослідження залежність потреби в ЗЧ розглядається через параметр A_n – кількість автомобілів, що потребують проведення ремонтних робіт. Однак наразі відсутня стандартизована методика визначення їх чисельності.

Формування оптимального підходу до оцінки потреби в ЗЧ автомобілів має базуватися на врахуванні року випуску ТЗ, його технічного стану, а також, менш значущого фактора – пробігу.

Витрати на проведення технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР) перевищують 15% від початкової вартості нового автомобіля, а витрати на

придбання ЗЧ становлять приблизно 7...8% його вартості. Під час експлуатації ТЗ виконуються ремонтні роботи, не передбачені гарантійним терміном заводу-виробника (100 тис. км пробігу або 3 роки), що включають заміну витратних ЗЧ, зокрема гальмівних колодок, щіток склоочисника та освітлювальних ламп. Сукупні витрати власника на зазначені комплектуючі та роботи з їхньої заміни, включно з ТО, становлять близько 5% від вартості автомобіля.

Значна частина підприємств автосервісу отримує основний дохід від реалізації запасних частин, зокрема шин, аксесуарів, мастильних матеріалів тощо. Це часто супроводжується наявністю у підприємства власного магазину ЗЧ. Таким чином, доходи від надання послуг з ТО та ПР легкових автомобілів можуть бути у 2...3 рази меншими за доходи від продажу ЗЧ.

Формування переліку елементів, вузлів і агрегатів легкових автомобілів, що визначають їхню працездатність, здійснюється на основі комплексного аналізу таких критеріїв:

- частота типових відмов та їх кількість на одиницю пробігу для кожної моделі автомобіля;
- ступінь впливу типових відмов на загальну працездатність транспортного засобу;
- співвідношення витрат на заміну елементів (S) і середнього напрацювання на відмову для певного типу несправностей.

Для отримання обґрунтованих результатів прийнято рішення про проведення експериментального дослідження, спрямованого на збирання фактичних даних про діяльність дилерської мережі СТО певної марки автомобілів. У результаті статистичного аналізу та формування бази даних щодо відмов, що виникають у процесі експлуатації, отримано значення середнього напрацювання на відмову, коефіцієнти варіації та інші показники, що дали змогу класифікувати відмови автомобілів цієї марки та оцінити їхню експлуатаційну надійність. За підсумками аналізу зібраних даних стало можливим визначення інтегральних і диференціальних функцій розподілу напрацювання на відмову.

Оцінювання експлуатаційних характеристик легкових автомобілів у межах дилерської мережі СТО здійснювалося із застосуванням методу послідовних переваг. Також використано методу визначення критичних елементів автомобіля на основі показників надійності, яка була доповнена та вдосконалена.

Для оцінки впливу окремих елементів автомобіля на його загальну працездатність із врахуванням наведених вище критеріїв було розроблено п'ятиетапний підхід.

На першому етапі визначається ступінь впливу типової відмови Q_1 на загальну працездатність автомобіля. У межах цього етапу аналізуються дані про класифікацію відмов, досвід експлуатації та обслуговування транспортного засобу, а також ремонтування його вузлів та агрегатів. Ступінь впливу типової відмови може бути віднесений до одного з трьох рівнів:

- Q_1 – відмова елемента, яка унеможливує подальшу експлуатацію автомобіля, переводячи його в граничний або несправний стан;
- Q_2 – відмова елемента, що спричиняє значне погіршення технічного стану автомобіля, потребує ремонту, внаслідок чого транспортний засіб переходить у несправний стан;
- Q_3 – відмова елемента, яка викликає незначне відхилення технічного стану від еталонних показників, а її усунення потребує тривалого ремонту, що відносить її до несуттєвих відмов.

2. На другому етапі, після класифікації відмов за рівнями (Q_1 , Q_2 і Q_3) для кожного елемента E_i , здійснюється бальна оцінка його впливу на загальну працездатність транспортного засобу. Ця оцінка базується на експертному аналізі та враховує критичність кожної відмови.

Крім того, на цьому етапі визначається сумарний вплив відмов усіх елементів на кожному з рівнів Q_j . При цьому значущі рівні отримують вищі бальні оцінки порівняно з менш критичними рівнями. Такий підхід дає змогу не лише визначити найуразливіші елементи автомобіля, а й ранжувати їх за пріоритетністю усунення несправностей:

$$\begin{cases} \Omega_{ij} > \sum_{k=j+1}^K \Omega_{i,k}; \\ \Omega_{\sum i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij}, \end{cases} \quad (7)$$

де Ω_{ij} – бальні (вагові оцінки); i – індекс автомобільного елемента; j – індекс ступеню рівня елементного впливу, $j = \overline{1, m}$, k – індекс порядкового номера розглянутого елемента автомобілів, $k = (1, K)$; m – відмови елементів легкових автомобілів, що впливають на працездатність від кількості рівнів впливу $m = 3$; n – загальна кількість елементів, що оцінюються з позиції вимоги лімітування їх працездатності.

Застосування умови (7) передбачає визначення впливу кожної відмови окремого елемента на загальну працездатність легкових автомобілів залежно від обраної шкали оцінювання.

У межах цього етапу використовується 10-бальна шкала, оскільки вона забезпечує достатню інформативність та наочність оцінки, на відміну від 100-бальної системи, яка, хоча й має вищу точність, є менш зручною для практичного застосування. Такий вибір дає змогу ефективно класифікувати рівень впливу кожної відмови та полегшує аналіз отриманих результатів.

Звертаючи на увагу прийняття 10-ти бальної шкали оцінок впливу відмов кожного елемента E_i за рівнями Q_1 , Q_2 і Q_3 і для $j = \overline{1, m}$, $m=3$ оптимальною є така вимога до бальних оцінок впливу елементів на працездатність легкових автомобілів: оцінки мають відповідати рівню критичності відмови та її впливу на загальну функціональність легкових автомобілів:

$$\Omega_{i1} = 10; \Omega_{i2} \cap \Omega_{i3} = \Omega_{i2}(8;7;6;5) \cap \Omega_{i3}(1;2;3;4). \quad (8)$$

Визначення бальних оцінок Ω_{i2} , Ω_{i3} та оцінки впливу елемента на працездатність легкових автомобілів відповідно до обраної шкали здійснюється шляхом експертного опитування групи фахівців, безпосередньо пов'язаних із діяльністю автосервісного підприємства. Упорядкування отриманих оцінок виконується за допомогою виразу (7), що дозволяє узагальнити вагові оцінки Ω_{ij} для кожного елемента E_i із заданої множини $\{E_i\}_{i=1}^n$:

$$\Omega_{\sum i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij}. \quad (9)$$

У результаті підсумовування отриманих оцінок стає можливим упорядкування значень для кожного елемента шляхом визначення його рейтингової позиції. Це, у свою чергу, дає змогу здійснити початкову ідентифікацію найбільш критичних елементів з метою забезпечення загальної працездатності легкових автомобілів:

$$\lambda_{\Omega_i} = \begin{cases} \min, \text{ для } \Omega_{\sum i} \Rightarrow \max; \\ \max, \text{ для } \Omega_{\sum i} \Rightarrow \min. \end{cases} \quad (10)$$

У результаті аналізу отриманого масиву даних вагових оцінок Ω_{ij} визначаються значення математичного сподівання $\bar{\Omega}$, коефіцієнта варіації та середньоквадратичного відхилення $\sigma(\Omega_i)$ для обраного варіанта шкали оцінювання, визначеного у виразі (8):

$$\bar{\Omega}_i = \frac{\sum_{i=1}^m \Omega_{ij}}{m}; \sigma(\Omega_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Omega_{ij} - \bar{\Omega}_i)^2}{m-1}}; \nu(\Omega_i) = \frac{\sigma(\Omega_i)}{\bar{\Omega}_i}. \quad (11)$$

Відмінною особливістю цього виразу є те, що, на відміну від виразів (9) та (10), індекс i позначає варіант комбінації бальних оцінок рівня значущості, а m – індекс аналізованих комбінацій, які визначаються відповідно до виразу (8).

У процесі обробки отриманого масиву бальних оцінок Ω_{ij} згідно з виразом (11) визначаються їхні статистичні характеристики та формуються комбінації бальних оцінок. Отриманий масив даних дозволяє оцінити чутливість аналізованих комбінацій. Для проведення такого аналізу використовуються парні поєднання варіантів I та II:

$$I = \{10-8; 10-7; 10-6; 10-5\}; II = \{8-1; 7-2; 6-3; 5-4\}.$$

При цьому повинна виконуватись умова:

$$\Omega_{ij} > \sum_{k=j+1}^K \Omega_{i,k}. \quad (12)$$

Згідно з виразами (7) та (12), маємо:

$$10 > 8+1=9; 8 > 1; 10 > 7+2=9; 7 > 2; 10 > 6+3=9; 6 > 3; 10 > 5+4=9; 5 > 4.$$

Для прийнятих парних поєднань I та II виконується формування масивів для: $i = \overline{(1, n)}; n = 4; j = \overline{(1, m)}; m = 3$:

$$A_i = \frac{\Omega_{i,j}}{\Omega_{i,j+1}}; \quad (13)$$

$$B_i = \frac{\Omega_{i,j+1}}{\Omega_{i,j+2}}. \quad (14)$$

Обробка масивів парних поєднань I - $\{A_i\}$ і II - $\{B_i\}$ дає змогу, відповідно до відомих положень математичної статистики, оцінити математичні сподівання \bar{A} і \bar{B} , середньоквадратичні відхилення $\sigma(A)$ і $\sigma(B)$, а також коефіцієнти варіації $\nu(A)$ та $\nu(B)$. Крім того, виконується нормування значень A_i і B_i за середньоквадратичними відхиленнями $\sigma(A)$ і $\sigma(B)$, що дозволяє визначити їх нормовані значення A_i^H і B_i^H :

$$A_i^H = \frac{A_i}{\sigma(A)}; \quad (15)$$

$$B_i^H = \frac{B_i}{\sigma(B)}. \quad (16)$$

Подальша обробка масивів нормованих вагових оцінок A_i^H і B_i^H дає змогу визначити для них такі показники:

– значення математичного очікування $\bar{D} \in (\bar{D}_A \cap \bar{D}_B)$:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}, \quad (17)$$

де D_i – значення A_i^H або B_i^H ;

– значення середньоквадратичного відхилення:

$$\sigma(D_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}; \quad (18)$$

– значення коефіцієнтів варіації

$$\nu(D_i) = \frac{\sigma(D_i)}{\bar{D}}; \quad (19)$$

– значення абсолютних похибок для даної довірчої ймовірності $\gamma = 0,9$

$$\xi_D = Z_\gamma \frac{\sigma(D)}{\sqrt{n}}, \quad (20)$$

де Z_γ – є нормована випадкова величина для заданої ймовірності γ ;

– значення верхньої \bar{D}^B та нижньої \bar{D}^H довірчих меж:

$$\bar{D}^{B,H} = \bar{D} \pm Z_\gamma \frac{\sigma(D)}{\sqrt{n}}; \quad (21)$$

$$\bar{D}^{B,H} \in (\bar{D}_A^{B,H} \cap \bar{D}_B^{B,H}). \quad (22)$$

Результати обробки інформації дають змогу отримати оцінки статистичних характеристик нормованих парних комбінацій, що відображають вплив відмов елементів на працездатність легкових автомобілів.

Остаточний вибір варіанта проведення аналізу впливу відмов елементів на працездатність автомобілів здійснюється за умовою:

$$C_i = (A_i^n + B_i^n) \Rightarrow \max \quad (23)$$

За результатами проведених досліджень у межах аналізу чутливості оцінок на різних рівнях формується висновок щодо найбільш оптимальної комбінації для кожного рівня впливу.

Запропонована методика реалізується відповідно до такої послідовності розв'язання задач. На основі виразу (7) для аналізованих рівнів впливу Q_1 , Q_2 і Q_3 відмов елементів E_i транспортного засобу визначаються вагові оцінки їхнього впливу Ω_{ij} на загальну його працездатність. Оцінювання здійснюється шляхом експертного опитування співробітників автосервісного підприємства, які безпосередньо займаються технічним обслуговуванням і ремонтом автомобілів.

Надалі отримані вагові оцінки підсумовуються $\Omega_{\Sigma i}$ відповідно до виразу (9) та впорядковуються за рівнем впливу відмови окремого елемента на загальну працездатність легкових автомобілів відповідно до умови (10).

3. На третьому етапі проводиться визначення статистичних показників зібраного масиву даних сумарних експертних оцінок. До таких показників належать середньоквадратичне відхилення $\sigma(\Omega_\Sigma)$ та математичне сподівання $\bar{\Omega}_\Sigma$ для відповідного масиву даних: $\{\Omega_{\Sigma i}\}, i = \overline{(1, n_Q)}$;

$$\bar{\Omega}_\Sigma = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} \Omega_{\Sigma i}}{n_Q}; \quad (24)$$

$$\sigma(\Omega_\Sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (\Omega_{\Sigma i} - \bar{\Omega}_\Sigma)^2}{n_Q - 1}}, \quad (25)$$

де

$$\Omega_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^m \Omega_{ij}. \quad (26)$$

Потім формується масив нормованих значень $\{K_i\}$ шляхом проведення нормування математичного сподівання Ω_{Σ_i} відносно середньоквадратичного відхилення $\sigma(\Omega_{\Sigma})$:

$$K_i = \frac{\Omega_{\Sigma_i}}{\sigma(\Omega_{\Sigma})}. \quad (27)$$

4. На четвертому етапі здійснюється визначення масиву $\{S_i\}, i = \overline{(1, n_s)}$ питомих витрат на придбання елементів транспортного засобу, що вийшли з ладу, з метою забезпечення його працездатності на кожні 1000 км пробігу.

Після цього для отриманого масиву $\{S_{\Sigma_i}\}, i = \overline{(1, n_s)}$ необхідно розрахувати статистичні характеристики, зокрема середньоквадратичне відхилення $\sigma(S_{\Sigma})$ та математичне сподівання $\overline{S_{\Sigma}}$, відповідно до наведених виразів:

$$\overline{S_{\Sigma}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} S_{\Sigma_i}}{n_s}; \quad (28)$$

$$\sigma(S_{\Sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_s} (S_{\Sigma_i} - \overline{S_{\Sigma}})^2}{n_s - 1}}; \quad (29)$$

де

$$S_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^m S_{ij}. \quad (30)$$

Тут $n_Q = n_s$.

Наступним кроком є формування масиву нормованих значень M_i шляхом нормування масиву питомих витрат S_{Σ_i} відносно середньоквадратичного відхилення $\sigma(S_{\Sigma})$:

$$M_i = \frac{S_{\Sigma_i}}{\sigma(S_{\Sigma})}. \quad (31)$$

5. На п'ятому етапі виконується відбір із вихідної множини номенклатури елементів $\{E_i\}_{i=1}^n$ легкових автомобілів найбільш критичних і значущих з огляду на наслідки їх відмови та вартість придбання заміни.

Для розв'язання цього завдання необхідно провести попередню оцінку варіацій $\nu(K)$ і $\nu(M)$ відповідних параметрів, що характеризують вплив відмови елемента та його вартість:

$$\nu(K) = \sigma(K)/\overline{K}; \nu(M) = \sigma(M)/\overline{M}, \quad (32)$$

де математичні очікування та середньоквадратичні відхилення для $\{K_i\}$ і $\{M_i\}$ дорівнюють:

$$\overline{K} = \frac{\sum_{i=1}^{n_Q} K_i}{n_Q}; \quad (33)$$

$$\Sigma(K) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_Q} (K_i - \overline{K})^2}{n_Q - 1}}; \quad (34)$$

$$\overline{S} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} M_i}{n_s}; \quad (35)$$

$$\sigma(M) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_s} (M_i - \bar{M})^2}{n_s - 1}}. \quad (36)$$

У разі дотримання умови, за якої варіація $v(K)$ або $v(M) < 0,4$ відповідає визначеним критеріям, для ідентифікації критичних елементів, що забезпечують працездатність легкових автомобілів, застосовуються порогові значення нижніх довірчих меж \bar{K}_γ^H і \bar{M}_γ^H , що відповідають нормальному закону розподілу відповідних параметрів.

Якщо ж умова щодо варіації $v(K)$ або $v(M) < 0,4$ не виконується, тобто $v(K)$ або $v(M) \geq 0,4$ – виходять за межі допустимих значень, тоді застосовується закон гамма-розподілу. Найчастіше гамма-розподіл використовується в процесі постачання запасних частин, вузлів та агрегатів легкових автомобілів у дистрибуційних системах та на станціях технічного обслуговування в умовах підвищеної інтенсивності використання за певний період.

Для нормального закону розподілу нижні довірчі межі K_i і M_i визначаються за такими формулами:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - Z_\gamma \frac{\sigma(K_i)}{\sqrt{n_K}}; \quad (37)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - Z_\gamma \frac{\sigma(M_i)}{\sqrt{n_M}} \quad (38)$$

Для гамма-розподілу нижні довірчі межі K_i і M визначаються за виразами:

$$\bar{K}_\gamma^H = \bar{K} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{K}}{\sqrt{\eta_K \cdot n_K}}; \quad (39)$$

$$\bar{M}_\gamma^H = \bar{M} - U_\gamma \cdot \frac{\bar{M}}{\sqrt{\eta_M \cdot n_M}}. \quad (40)$$

У рівняннях (37) та (40) маємо: γ – довірна ймовірність (як правило, $\gamma \geq 0,9$); Z_γ – нормована випадкова величина, що відповідає заданій ймовірності γ ; U_γ – квантиль нормального розподілу.

Параметри форми гамма-розподілу для множин $\{K_i\}$ та $\{M_i\}$ визначаються за такими співвідношеннями:

$$\eta_K = \frac{\bar{K}^2}{\sigma^2(K)}; \quad (41)$$

$$\eta_M = \frac{\bar{M}^2}{\sigma^2(M)}. \quad (42)$$

У результаті визначаються значення нижніх довірчих меж K_γ і M_γ , що дає змогу здійснити відбір номенклатури елементів, які впливають на працездатність легкових автомобілів. Цей відбір проводиться як з огляду на рівень впливу, так і з урахуванням найбільших питомих витрат, необхідних для усунення відповідної несправності. Відбір за цими параметрами здійснюється відповідно до наступної умови:

$$K_i \geq \bar{K}_\gamma^H; M_i \geq \bar{M}_\gamma^H. \quad (43)$$

При цьому в межах формулювання зазначених умов може виконуватися така залежність $n_K = n_M$ або ж умова $n_K \neq n_M$.

Якщо для заданої умови $K_i \geq \bar{K}_\gamma^H$ кількість елементів $n_Q = n_K$ не збігається з числом елементів $n_S = n_M$ у порівняльній множині, то виконується відповідна залежність $M_i \geq \bar{M}_\gamma^H$, і (або) спостерігається розбіжність у номенклатурі елементів та їх кількості для задоволення умови (43). Одночасно для множин K_i та M_i (і/або) виділяються елементи, які характеризуються високими значеннями K_i і низькими значеннями M_i (або навпаки). У такому випадку виникає необхідність здійснення додаткових процедур щодо відбору елементів легкових автомобілів.

З урахуванням накладання подій K і M та застосування принципу невизначеності Лапласа, який припускає рівнозначний вплив обох критеріїв, визначається загальний вплив кожного елемента транспортного засобу. Це впливає на його працездатність одночасно за двома параметрами: рівнем впливу конкретного елемента у разі його відмови та витратами, необхідними для усунення відповідної несправності:

$$R_i = K_i \cdot M_i. \quad (44)$$

Далі здійснюють розрахунок нижніх довірчих меж \bar{R}_γ^H за виразом:

$$\bar{R}_\gamma^H = \bar{R} - U_\gamma \frac{\bar{R}}{\sqrt{\eta_R + n_R}}, \quad (45)$$

де η_R – відображає форму розподілу R_i показника з дотриманням пронормованих значень критеріїв K_i і M_i . Одночасно за (44), η_R набуває вигляду:

$$\eta_R = \frac{\bar{R}^2}{\sigma^2(R)}. \quad (46)$$

На завершальному етапі відбувається ідентифікація елементів, що обмежують працездатність легкових автомобілів відповідно до встановлених умов:

$$R_i \geq \bar{R}_\gamma^H; \quad (47)$$

$$n_R \leq \begin{cases} n_K = n_M; \\ n_K \neq n_M. \end{cases} \quad (48)$$

Зазначені умови відповідають критеріям визначення найбільш "критичних" елементів, що обмежують працездатність легкових автомобілів.

Розроблену методику було апробовано на прикладі легкових автомобілів марки Renault. Вона забезпечує достовірне визначення елементів, які лімітують працездатність автомобіля. Крім того, методика дозволяє прогнозувати потребу у запасних частинах для підтримання заданого рівня працездатності транспортного засобу, а також сприяє підвищенню ділової активності підприємства.

Висновки

1. Визначено наукові методи, які дають можливість підібрати номенклатуру деталей, що обмежують ресурс легкових автомобілів.

2. Отримано статистичні характеристики експлуатаційної надійності елементів легкових автомобілів (оцінок математичного очікування та середньоквадратичного відхилення напрацювань на відмови елементів), абсолютних та питомих витрат на запасні частини при відновленні їх працездатності.

3. Розроблено методику оптимізації потреби в запасних частинах критичних за працездатністю в рамках дистриб'юторської системи та системи автосервісу, з урахуванням економічної кон'єктури, умов експлуатації, інтенсивності та

працездатності легкових автомобілів. Виділено п'ять етапів реалізації запропонованої методики.

4. Проведено оцінку ефективності та практичної значущості впровадження методики, використання якої уможливило зниження витрат та втрат на підтримку працездатності автомобілів марки Renault, як для власників автомобілів, так і для дилерських сервісних центрів у діапазоні від 10,0% до 16,2 %.

Список літератури

1. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кузик О.В., Тертиця О.М., Байцан В.Г. Система сервісного обслуговування транспортної та сільськогосподарської техніки дилерським центром в агропромисловому виробництві. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 108 – 110.
2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Сергійчук А.А., Ляшук О.Л. Використання ймовірно-логічного діагностування технічного стану машин в розробці системи технічного обслуговування і ремонту. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 103 – 105.
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. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2023. Вип. № 8(39), т. II. 2023. С. 175- 189.
4. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. *Вісник Житомирського національного аграрно-екологічного університету: науково-теоретичний збірник.* 2014. Вип. № 2 (45), т. 4, ч. II. С. 37-50.
5. 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.
6. 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. No. 20. P. 34 - 39.
7. Поляков А. П., Антонюк О. П. Аналіз факторів, які впливають на формування номенклатури та кількості запасних частин автотранспортного підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.* 2011. №6 (160). С. 139 - 143.
8. Поляков А. П., Антонюк О. П., Галушак Д. О. Організація забезпечення запасними частинами автотранспортних підприємств. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник.* 2012. Вип. 36. С. 238-240.
9. Поляков А. П., Галушак Д. О., Галушак О. О., Антонюк О. П. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету.* 2012. № 2. URL: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/325>.
10. Антонюк О. П., Баранов А. М., Коробов С. С., Марянюк Б. С. Обґрунтування вихідних принципів розробки методу формування номенклатури та кількості запасних частин. *Вісник Житомирського державного технологічного університету.* Серія: Технічні науки. 2014. №2 (69). С. 10 - 15.
11. 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 (77). С. 56 - 61.
12. Антонюк О. П. Аналіз методів визначення номенклатурних груп запасних частин. *Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт.* 2013. №142. С. 181 - 183.
13. Біліченко В. В., Макаров В. А., Макарова Т. В., Антонюк О. П. Характеристика концепції щодо впровадження раціонального забезпечення регіонального вантажного АТП запасними частинами. *Вісник Житомирського державного технологічного університету.* Серія: Технічні науки. 2018. № 2 (82). С. 21 - 24.
14. Біліченко В. В., Макаров В. А., Макарова Т. В., Антонюк О. П. Про раціональний підхід до забезпечення запасними частинами вантажних АТП регіону. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань "Технічні науки").* 2018. Вип. 62. С. 29 - 35.

15. Кравченко О. П., Верітельник Є. А. Щодо визначення критерію необхідності зберігання запасних частин на складі автотранспортного підприємства. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*, 2014. № 2–3. С. 19–26.
16. Субочев О. І., Завалій Т. А., Погорєлов М. Г. Удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С. 58–67.
17. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2024. 19(1), 68–74.
18. Антонюк О. П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20. Житомир, 2021. 24 с.
19. Vacchetti A., Sacconi N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*. Volume 40, Issue 6, December 2012, P. 722-737.
20. Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., Feklin, E. (2023). Improving the Efficiency of Vehicle Operation by Defining the Organizational and Methodological Parameters of the Spare Parts Incoming Inspection System. In: Guda, A. (eds) *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 509. Springer, Cham.
21. Strelnikov V.P., Strelnikov P.V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. *Mathematical machines and systems*. 2022. N 2. С. 83–90.
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). 133-141.
23. TecDoc Catalogue by TecAlliance. URL: <https://web.tec Alliance.net/uk/home> (дата звернення: 12.03.2025).

References

1. Aulin, V. V., Hrynkiv, A. V., Kuzyk, O. V., Tertytsia, O. M., & Baetsan, V. H. (2024). System of service maintenance of transport and agricultural machinery by a dealer center in agro-industrial production. *Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" on the 117th Anniversary of the Birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-President of UASGN Volodymyr Savovich Kramarov (1906-1987), February 22-23, 2024, Kyiv*, 108–110 [in Ukrainian].
2. Aulin, V. V., Hrynkiv, A. V., Serhiichuk, A. A., & Liashuk, O. L. (2024). Use of probabilistic-logical diagnostics of machine technical condition in developing a system for maintenance and repair. *Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" on the 117th Anniversary of the Birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-President of UASGN Volodymyr Savovich Kramarov (1906-1987), February 22-23, 2024, Kyiv*, 103–105 [in Ukrainian].
3. Aulin, V. V., Liashuk, O. L., Hrynkiv, A. V., Lysenko, S. V., Mironov, D. V., Slobodyan, L. M., & Rohatynskiy, R. M. (2023). Optimal maintenance and repair operations complex for increasing the reliability of nodes, systems, and aggregates of mobile machines. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 8(39), part II, 175–189 [in Ukrainian].
4. Aulin, V. V., Lvivitskiy, O. M., & Holub, D. V. (2014). Impact of maintenance and repair strategies for mobile agricultural machinery on its condition, operator working conditions, and labor safety. *Bulletin of Zhytomyr National Agro-Ecological University: Scientific-Theoretical Collection*, 2(45), 4, 37–50 [in Ukrainian].
5. Aulin, V. V., Hrynkiv, A. V., Lysenko, S. V., Lvivitskiy, O. M., Holovaty, A. O., & Diachenko, V. O. (2020). Principles of constructing and functioning of a cyber-physical system for service maintenance of automotive and mobile agricultural machinery. *Technical Service of Agro-Industrial, Forestry, and Transport Complexes*, 22, 162–174 [in Ukrainian].
6. 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. Journal*, 20, 34–39.
7. Poliakov, A. P., & Antonyuk, O. P. (2011). Analysis of factors affecting the formation of the nomenclature and quantity of spare parts in road transport enterprises. *Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl*, 6(160), 139–143 [in Ukrainian].
8. Poliakov, A. P., Antonyuk, O. P., & Halushchak, D. O. (2012). Organization of spare parts supply for road transport enterprises. *Scientific Notes. Inter-university Collection*, 36, 238–240 [in Ukrainian].
9. Poliakov, A. P., Halushchak, D. O., Halushchak, O. O., & Antonyuk, O. P. (2012). Method for determining the necessary quantity of spare parts for transport repair. *Scientific Works of the Vinnytsia National Technical University*, 2 [in Ukrainian].
10. Antonyuk, O. P., Baranov, A. M., Korobov, S. S., & Maryanko, B. S. (2014). Justification of the basic principles for developing a method for forming the nomenclature and quantity of spare parts. *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Series: Technical Sciences*, 2(69), 10–15 [in Ukrainian].
11. Bilychenko, V. V., & Antonyuk, O. P. (2016). Justification of criteria for evaluating the effectiveness of

- selecting spare parts stored in road transport enterprise warehouses to maintain its fleet in working condition. *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Series: Technical Sciences*, 2(77), 56–61 [in Ukrainian].
12. Antonyuk, O. P. (2013). Analysis of methods for determining the nomenclature groups of spare parts. *Bulletin of SevNTU. Series: Machine Engineering and Transport*, 142, 181–183 [in Ukrainian].
 13. Bilychenko, V. V., Makarov, V. A., Makarova, T. V., & Antonyuk, O. P. (2018). Characteristics of the concept of rational supply of regional freight road transport enterprises with spare parts. *Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Series: Technical Sciences*, 2(82), 21–24 [in Ukrainian].
 14. Bilychenko, V. V., Makarov, V. A., Makarova, T. V., & Antonyuk, O. P. (2018). On a rational approach to ensuring spare parts supply for freight road transport enterprises in the region. *Scientific Notes. Inter-university Collection (by fields of knowledge "Technical Sciences")*, 62, 29–35 [in Ukrainian].
 15. Kravchenko, O. P., & Verityelnick, E. A. (2014). On defining the criterion for the necessity of storing spare parts in a road transport enterprise's warehouse. *Bulletin of Donetsk Academy of Automobile Transport*, 2–3, 19–26 [in Ukrainian].
 16. Subochev, O. I., Zavaley, T. A., & Pohorielov, M. H. (2019). Improving spare parts supply for service enterprises. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1(32), 58–67 [in Ukrainian].
 17. Kashkanov, A. A., & Moskaliuk, M. L. (2024). Methods of justifying spare parts stocks in the transportation process management system. *Bulletin of Machine Engineering and Transport*, 19(1), 68–74 [in Ukrainian].
 18. Antonyuk, O. P. (2021). Improvement of the spare parts supply process for the rolling stock of a road transport enterprise (Doctoral dissertation). Zhytomyr [in Ukrainian].
 19. Bacchetti, A., & Saccani, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722–737 [in Ukrainian].
 20. Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., & Feklin, E. (2023). Improving the efficiency of vehicle operation by defining the organizational and methodological parameters of the spare parts incoming inspection system. In A. Guda (Ed.), *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022* (pp. 509). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27953-7_41.
 21. Strelnikov, V. P., & Strelnikov, P. V. (2022). Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. *Mathematical Machines and Systems*, 2, 83–90.
 22. Korobochka, O. M., Chernyshov, O. V., Trykilo, A. I., & Burinchyk, O. O. (2023). Modeling warehouse inventory at vehicle service stations. *Mathematical Modeling*, 2(49), 133–141 [in Ukrainian].
 23. TecDoc Catalogue by TecAlliance. (n.d.). *TecDoc Catalogue*. Retrieved March 12, 2025, from <https://web.tecalliance.net/uk/home>.

Serhii Tyshchenko, Andrii Serhiichuk, Viktor Aulin, Prof., DSc.,

Andrii Hrynkiv, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Methods for Determining the Needs of Car Service Enterprises in Spare Parts and Developing a Methodology for Their Impact on the Overall Performance of Cars

The article is devoted to methods of determining the needs of a car service enterprise in spare parts and the article is devoted to methods of determining the needs of a car service enterprise in spare parts and developing a methodology for their selection and impact on the overall performance of passenger cars. The groups of the spare parts nomenclature are considered.

A number of statistical indicators, actual and regulatory needs of a car service enterprise in spare parts are determined. Their utilization coefficient is determined. A methodology for assessing the degree of influence of an element (part, assembly, system, unit) of a car on its performance is developed.

Five stages of implementation of the methodology are proposed. At the first stage, the influence of resource-determining failures on the condition of the car is determined. At the second stage, the impact of failures of parts, assemblies, systems and units in points on the overall performance of the car is assessed. At the third stage, statistical indicators of the collected array of expert assessment databases are determined. At the fourth stage, the array of costs for purchasing spare parts in the distribution system is determined in order to maintain the performance of the car. At the fifth stage, the task of selecting from the initial nomenclature of passenger car elements the most critical and significant in terms of the consequences of failure and the cost of their acquisition is solved.

The corresponding conditions for determining the elements that significantly limit the performance of passenger cars are formulated. The methodology has been tested on Renault passenger cars.

passenger car, technical condition, failure, element, spare part, impact assessment methodology, car performance

Одержано (Received) 14.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 19.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 21.03.2025