

Дембіцький В.М., Самостян В.Р.
Луцький національний технічний університет, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЙОГО НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ

У статті розглядаються теоретичні та прикладні аспекти оцінювання доцільності подальшої експлуатації автотранспортних засобів, що втратили частину свого технічного ресурсу внаслідок тривалої експлуатації. Особливу увагу приділено проблемі прийняття обґрунтованих рішень щодо продовження використання чи списання транспортних одиниць з урахуванням як технічного стану, так і економічної доцільності. У контексті зростання вартості нових транспортних засобів, підвищення цін на обслуговування та ремонт, а також необхідності оптимізації витрат на управління автопарком, актуальність даного дослідження зумовлена потребою в системному підході до оцінки ефективності експлуатації транспорту, що вже частково вичерпав свій ресурс.

У межах дослідження було запропоновано структуру методики оцінювання залишкового ресурсу автотранспортних засобів із врахуванням техніко-економічних показників. Виділено ключові параметри, що впливають на прийняття рішень, зокрема показники надійності, інтенсивності експлуатації та коефіцієнт технічної готовності. Узагальнено математичну модель, яка дозволяє формалізовано оцінити доцільність подальшої експлуатації конкретного транспортного засобу з урахуванням реальних експлуатаційних даних, а також здійснювати прогнозування ефективності подальшого використання транспортного засобу.

Окреслено перспективи подальших досліджень, серед яких – урахування зовнішніх чинників експлуатації, адаптація моделі до різних типів транспортних засобів, використання методів штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення точності прогнозів технічного стану та ефективності експлуатації. Зазначене дослідження має практичну цінність для суб'єктів транспортної логістики, управлінців автопарками, а також науковців, які займаються питаннями ефективності технічної експлуатації транспорту.

Ключові слова: експлуатаційна доцільність, автотранспортні засоби, технічний ресурс, залишковий ресурс, техніко-економічна оцінка, ефективність використання, знос, ремонтпридатність, управління автопарком, математична модель, прийняття рішень, транспортна логістика.

ВСТУП

Надійність колісних транспортних засобів є одним з визначальних показників ефективності їх експлуатації. Протягом останніх років надійність автомобілів значно зросла, трюозатрати на технічне обслуговування зменшилися, в той же час значно зробили трюозатрати на ремонт автомобілів. За результатами аналізу процесів ремонту автомобілів різних марок встановлено, що збільшення цих трюозатрат пов'язано з ускладненням конструкції, необхідністю демонтажу додаткових елементів, необхідністю налаштування систем після ремонту, тощо [1], [2], [3].

Як свідчить проведений аналіз, значна частка робіт присвячена проблемам та питанням дослідження показників надійності [4], [5], [6], їх підвищення [7], [8], [9], моделювання технічного стану автомобіля [10], [11], [12], [13], [14].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Питанням надійності транспортних засобів в Україні займалися науковці Є. Форнальчик [15], [16], [17], Є Хаврук [18], В. Аулін [19], [20], В. Канарчук [21] та інші [22], [23].

Очевидно, що з віком (пробігом) транспортного засобу зростатимуть затрати на здійснення технічних впливів, імовірність його виходу з ладу, тривалість простоїв в ремонті.

У роботі [3] авторами встановлено, що затрати на ремонт змінюються за експоненціальним законом, і зростають з віком транспортного засобу (рис. 1).

У роботі [24] на основі даних, зібраних зі станцій, які проводять перевірку технічного стану автомобілів, отримано розподіл несправностей автомобілів за віком (рис. 2, 3).

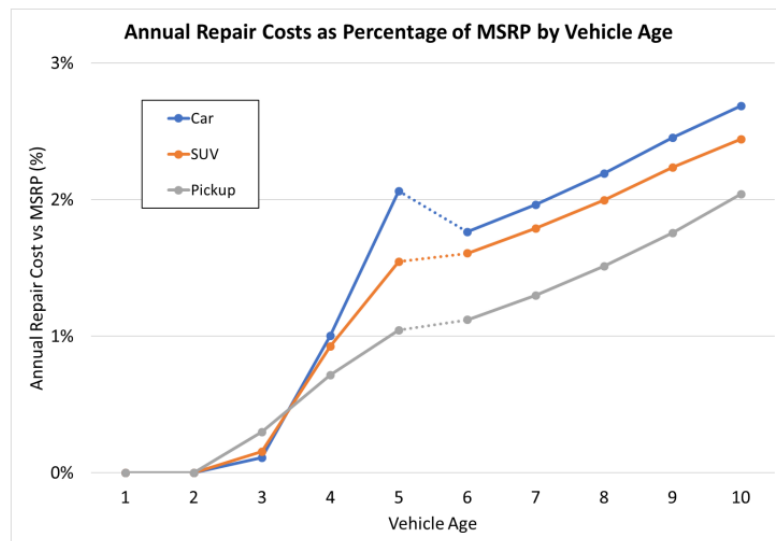


Рисунок 1 – Зміна витрат на ремонт автомобілів залежно від віку (за даними Edmunds TCO 2020 [3])

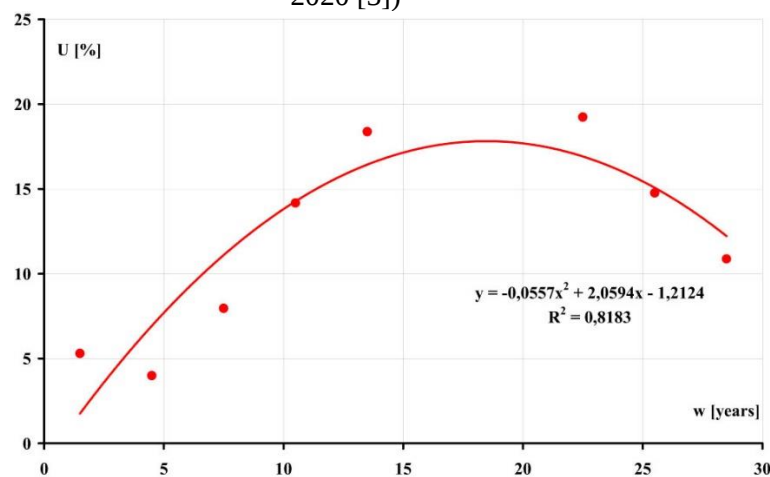


Рисунок 2 – Частка несправних автомобілів (за даними [24])

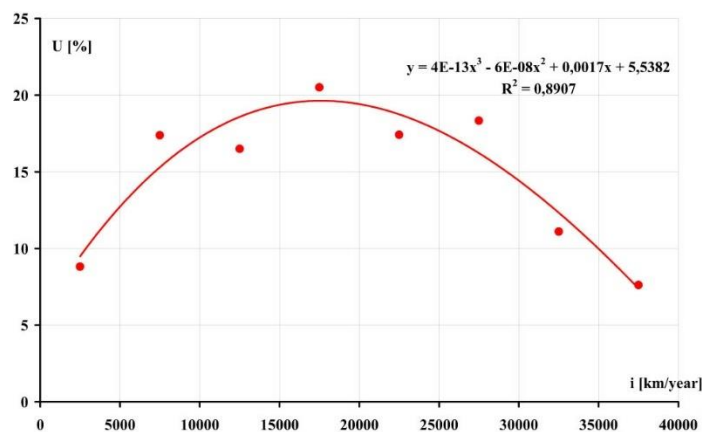


Рисунок 3 – Залежність частки несправних транспортних засобів серед транспортних засобів у заданому діапазоні інтенсивності експлуатації (за даними [24])

На основі проведеного огляду літературних джерел визначено ціль та задачі досліджень.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз змін показників надійності та ефективності експлуатації колісних транспортних засобів у процесі їхнього старіння, з урахуванням терміну їх експлуатації, а

також побудова аналітичної моделі для прогнозування цих показників протягом життєвого циклу транспортного засобу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити характер змін коефіцієнтів ефективності експлуатації з урахуванням віку автомобіля;
- побудувати узагальнену математичну модель зміни показників надійності та ефективності експлуатації автомобіля у часі.
- запропонувати підходи до прогнозування технічного стану транспортних засобів на основі моделі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою оцінки ефективності використання транспортного засобу застосовуються наступні коефіцієнти [15]:

- коефіцієнт готовності (K_r), який характеризує ймовірність працездатності об'єкта у будь-який момент часу, впродовж якого передбачено його використання за призначенням, і визначається за залежністю:

$$K_r = \frac{T_{\text{пц}}}{T_{\text{пц}} + T_{\text{в}}} \quad (1)$$

де $T_{\text{пц}}$ – сумарна тривалість працездатного стану автомобіля;

$T_{\text{в}}$ – сумарна тривалість усунення відмов автомобіля;

$$K_{\text{ог}} = \frac{T_{\text{пц}}}{T_{\text{пц}} + T_{\text{в}} + T_{\text{орг}}} \quad (2)$$

- коефіцієнт технічного використання $K_{\text{тв}}$, який характеризує відношення працездатного стану автомобіля до загального часу використання автомобіля:

$$K_{\text{тв}} = \frac{T_{\text{пц}}}{T_{\text{пц}} + T_{\text{ТО}} + T_{\text{рем}}} \quad (3)$$

де $T_{\text{ТО}}$, $T_{\text{рем}}$ – тривалість перебування автомобіля на технічному обслуговуванні та в ремонті.

- коефіцієнт збереження ефективності $K_{\text{е.в.}}$, який враховує зміну ефективності використання автомобіля, залежно від $T_{\text{пц}}$:

$$K_{\text{е.в.}} = \frac{W_{\text{р.ф.}}}{W_{\text{р.н.}}} \quad (4)$$

де $W_{\text{р.ф.}}$, $W_{\text{р.н.}}$ – відповідно фактичний та номінальний обсяг транспортної роботи. За номінальний обсяг транспортної роботи приймається, за умови $K_r = 1$, тобто приймається період, протягом якого не виникали відмови.

Вищенаведені коефіцієнти дуже добре допомагають охарактеризувати існуючий стан автомобільного парку. Однак, якщо розглядати питання прогнозування ефективності використання транспортних засобів, можуть виникнути проблеми з вибором показників, наприклад, час простою автомобілів в ремонті, тощо.

У 1990-х роках науковцями було запропоновано застосовувати коефіцієнти, які дозволяють здійснювати оцінку як окремого автомобіля, так і парку в цілому, використовуючи показники оцінки ефективності використання транспортних засобів на лінії. Оскільки, з віком автомобіля, затрати на ремонт змінюються за експоненціальним законом [3], то очевидно, що і ефективність використання транспортних засобів також підпорядковуватиметься цьому закону.

Несвицьким Я.І., Говорущенком М.Я., Кузнєцовим Є.С. Прудковським Б.Д., доведено, що показник, який характеризує певний показник надійності автомобіля (K_a), можна описати залежністю:

$$K_a(t) = K_0 e^{(\pm \beta t)} \quad (5)$$

де $K_a(t)$ – значення показника на момент часу (t) експлуатації автомобіля або парку автомобілів;

K_0 – значення показника на момент початку експлуатації автомобіля або парку автомобілів;

β – коефіцієнт, який характеризує зміну K_a протягом терміну експлуатації транспортного засобу. Цей показник в літературі може називатися коефіцієнтом старіння автомобіля.

Знак $\pm$ у залежності (5) вказує відповідно на зростання або спадання показника. Наприклад з віком автомобіля витрати на ремонт транспортних засобів зростатимуть, натомість ефективність експлуатації автомобіля спадатиме.

В якості показника надійності автомобіля можуть використовуватися затрати на його обслуговування і ремонт, простої, пробіг, тощо.

В такому випадку, використовуючи залежність (5), коефіцієнт технічного використання автомобіля ($K_{ТВ}$) буде визначатися:

$$K_{ТВ}(t) = K_{ТВ}^0 e^{(-\beta t)} \quad (6)$$

де $K_{ТВ}(t)$ – значення коефіцієнта технічного використання на момент часу (t) експлуатації автомобіля;

$K_{ТВ}^0$ – значення коефіцієнта технічного використання на момент початку експлуатації автомобіля;

β – коефіцієнт, який характеризує зміну $K_{ТВ}$ протягом терміну експлуатації транспортного засобу.

Тоді, в початковий момент експлуатації автомобіля, коефіцієнт технічного використання рівний 1, то:

$$K_{ТВ}(t) = e^{(-\beta t)} \quad (7)$$

Зміна коефіцієнту технічного використання автомобіля або автомобільного парку може бути представлена у вигляді графіка, наведеного на рисунку 4.

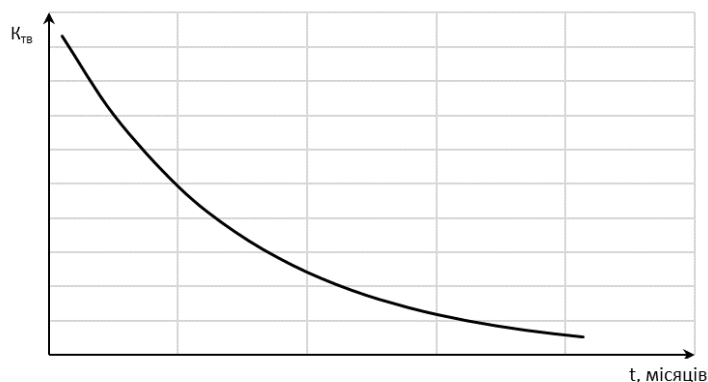


Рисунок 4 – Зміна коефіцієнту технічного використання автомобіля в процесі його експлуатації

Коефіцієнт технічного використання в процесі експлуатації автомобіля змінюється, що свідчить про зниження надійності автомобіля та, відповідно, ефективності його експлуатації (рис. 4). В решті, подальша експлуатація транспортного засобу буде недоцільною, тому автомобіль буде або

направлено на капітальний ремонт або на списання. Ці дві події вважаються завершенням експлуатаційного циклу автомобіля, тобто при досягненні коефіцієнта технічного використання автомобіля певного значення K_{TB}^{min} , яке відповідає часу експлуатації t^{max} подальша експлуатація припиняється (рис. 5).

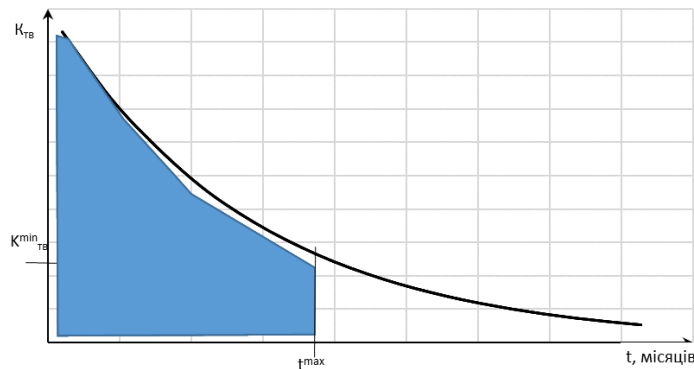


Рисунок 5 – Мінімальне значення коефіцієнту технічного використання автомобіля

Щодо часу експлуатації транспортного засобу t^{max} , то значення даного показника доцільно приймати відповідно до граничного терміну використання автомобіля, згідно прийнятої моделі нарахування амортизації [25, 26, 27, 28, 29]. Відповідно до пункту 145.1 статті 145 Податкового кодексу України мінімально допустимий строк корисного використання транспортних засобів, встановлений 5 років.

Несвицьким Я.І., Говорущенком М.Я., Кузнєцовим Є.С. Прудковським Б.Д. встановлено залежність між мінімальним значенням коефіцієнту технічного використання автомобіля та значенням цього ж коефіцієнта на момент часу (t) експлуатації автомобіля:

$$\overline{K_{TB}} = \frac{1 - K_{TB}^{min}}{-\ln(K_{TB}^{min})} \quad (8)$$

або (див. рис. 6):

$$K_{TB}^{min} = 0,9634(\overline{K_{TB}})^2 + 0,1665\overline{K_{TB}} - 0,1217 \quad (9)$$

$$\overline{K_{TB}} = 0,2821(K_{TB}^{min})^2 + 0,9377K_{TB}^{min} + 0,3236 \quad (10)$$

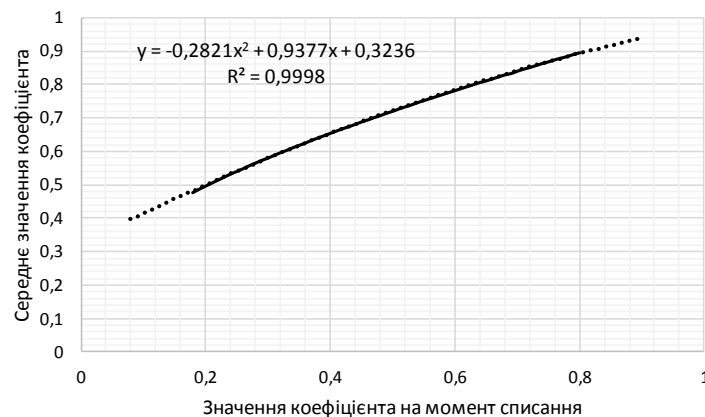


Рисунок 6 – Залежність середнього значення коефіцієнта технічного використання автомобіля $\overline{K_{TB}}$, залежно від значення цього коефіцієнта під час списання

Оперуючи значеннями коефіцієнта технічної готовності можливо спрогнозувати експлуатаційні показники окремого автомобіля або парку автомобілів протягом їх періоду експлуатації.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність запропонованого підходу щодо коефіцієнтів технічного використання автомобілів досить добре можна продемонструвати на прикладі. Нехай на деякому АТП експлуатуються автомобілі однієї марки. Середньодобовий пробіг автомобіля становить $L_{\text{сд}}$ км, пробіг до капітального ремонту - $L_{\text{кр}}$. Необхідно визначити ефективність експлуатації автомобілів, якщо термін експлуатації автомобіля до його списання становить $T_{\text{сп}}$. Для розрахунків прийнято вихідні дані: $L_{\text{сд}} = 345$ км, $L_{\text{кр}} = 450$ тис. км, $T_{\text{сп}} = 5$ років = 60 місяців.

Оскільки, найбільш доцільним є визначення ефективності експлуатації автомобіля в розрізі місяців, то середньомісячний пробіг автомобіля становитиме:

$$L_{\text{см}} = L_{\text{сд}} D_{\text{рм}} \quad (11)$$

де $D_{\text{рм}}$ – дні роботи автомобілів протягом місяця (при п'ятиденному робочому тижні рекомендовано приймати 22 дні, при шестиденному – 26 днів, при семиденному – 30 днів).

Тоді, з метою оцінки динаміки зміни основних показників, які характеризують надійність автомобіля та ефективність його експлуатації на АТП, на першому етапі визначається середній коефіцієнт технічного використання автомобіля за весь період його експлуатації:

$$\overline{K_{\text{ТВ}}} = \frac{L_{\text{кр}}}{L_{\text{см}} T_{\text{сп}}} \quad (12)$$

З врахуванням значень вихідних даних, наведених вище, з врахуванням семиденного робочого тижня (характерно для автобусів, які здійснюють перевезення пасажирів), отримано $L_{\text{см}} = 10,4$ тис. км, $\overline{K_{\text{ТВ}}} = 0,7211$.

За графіком, наведеним на рисунку 6, або за залежністю (9) визначається мінімальний коефіцієнт технічного використання автомобіля, на момент завершення експлуатації. В даному випадку $K_{\text{ТВ}}^{\text{min}} = 0,4993$.

За залежністю (8) здійснюється перевірка отриманого коефіцієнта $K_{\text{ТВ}}^{\text{min}}$:

$$\overline{K_{\text{ТВ}}} = \frac{1 - 0,4993}{-\ln(0,4993)} = 0,7209 \quad (13)$$

Збіжність коефіцієнтів технічної готовності є задовільною, тому для подальших розрахунків можна використовувати $K_{\text{ТВ}}^{\text{min}} = 0,4993$.

Параметр β_c , який характеризує зміну коефіцієнта технічного використання автомобіля в процесі його експлуатації визначається за залежністю:

$$\beta_c = \frac{-\ln(K_{\text{ТВ}}^{\text{min}})}{T_{\text{сп}}} = \frac{-\ln(0,4993)}{60} = 0,01157 \text{ міс}^{-1} \quad (14)$$

За отриманим значенням параметра β_c можна розрахувати можливість досягнення пробігу $L_{\text{кр}}$ протягом визначеного періоду експлуатації:

$$\overline{L_{\text{кр}}} = \frac{L_{\text{см}} (1 - e^{-T_{\text{сп}} \beta_c})}{\beta_c} = \frac{10,4 * (1 - e^{-60 * 0,01157})}{0,01157} = 449,9 \text{ тис. км} \quad (15)$$

Середньомісячний пробіг автомобіля перед списанням визначається за залежністю:

$$L_{\text{см}}^{\text{сп}} = L_{\text{см}} K_{\text{ТВ}}^{\text{min}} = 10,4 * 0,4993 = 5,2 \text{ тис. км}$$

Після цього можна визначити коефіцієнт μ зміни середньомісячного пробігу автомобіля від нового до моменту списання:

$$\mu = \frac{L_{\text{см}}}{L_{\text{см}}^{\text{сп}}} = \frac{10,4}{5,2} = 2,0$$

Таким чином встановлено, що середньомісячний пробіг автомобіля перед списанням зменшиться у 2,0 рази, порівняно з середньомісячним пробігом нового автомобіля. Тоді, зміна коефіцієнта технічного використання в процесі експлуатації автомобіля становитиме:

$$\alpha = \frac{\beta_c}{L_{\text{см}}} = \frac{0,01157}{10,4} = 1,1 * 10^{-3} \text{ тис. км.}^{-1}$$

Таким чином, коефіцієнт технічного використання автомобіля на кожних 1000 км буде зменшуватися на 0,0011.

Значення коефіцієнта технічного використання автомобіля на певному пробігу визначається за залежністю:

$$k_{L_x}^{\text{ТВ}} = 1 - \alpha L_x$$

де L_x - пробіг, на якому визначається коефіцієнт, тис. км.

Для прикладу, за отриманими результатами розрахунків знайдено коефіцієнти використання автомобіля для пробігів 50, 150, 350 тис. км. За результатами розрахунків побудовано графік, наведений на рисунку 7.

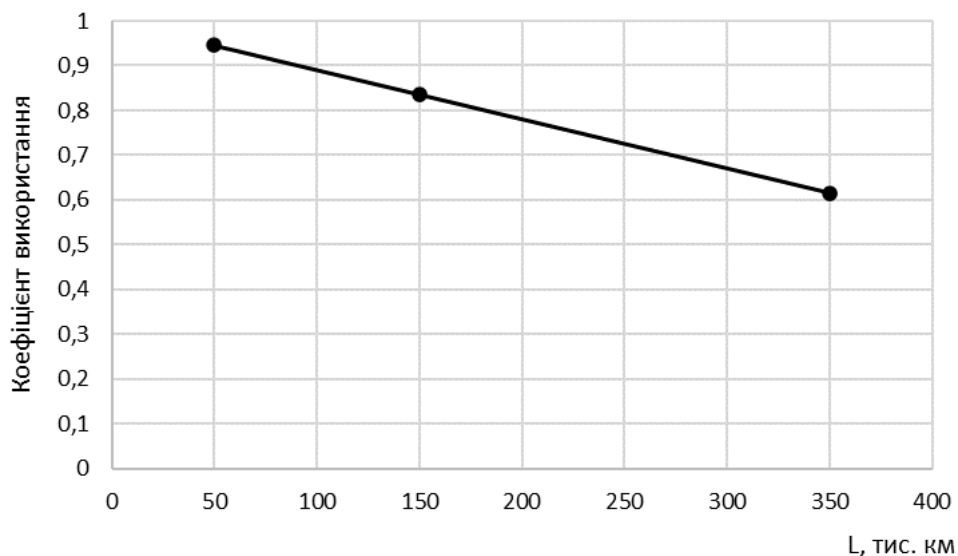


Рисунок 7 – Зміна коефіцієнта технічного використання автомобіля в процесі його експлуатації

Таким чином можна констатувати, що на пробігу 350 тис. км, коефіцієнт технічного використання автомобіля становитиме 0,615.

ВИСНОВКИ

У процесі експлуатації транспортного засобу його технічний стан поступово погіршується, що супроводжується зростанням витрат на технічне обслуговування та ремонт, зниженням коефіцієнтів технічної готовності та ефективності. Аналіз конструктивних змін у сучасних автомобілях показав, що ускладнення систем і агрегатів призводить до підвищення трудомісткості ремонтних робіт, особливо на пізніх етапах життєвого циклу транспортного засобу.

За результатами досліджень, спираючись на праці таких вчених як: Несвицький Я.І., Говорущенко М.Я., Кузнецов Є.С., Прудковський Б.Д., встановлено чітку залежність між віком автомобіля та рівнем експлуатаційних витрат, що дозволяє прогнозувати фінансові ризики, пов'язані з його подальшим використанням.

Узагальнено математичну модель зміни показників надійності та ефективності у часі, що дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо строків доцільної експлуатації транспортних засобів.

Запропонований підхід до прогнозування технічного стану та ефективності експлуатації може бути використаний підприємствами автотранспортної галузі для оптимізації витрат, планування оновлення парку та підвищення ефективності загальної діяльності. Перспективи подальших досліджень передбачають:

- удосконалення математичної моделі з урахуванням впливу зовнішніх факторів, таких як кліматичні умови та характер експлуатації;
- розробку диференційованих критеріїв оцінювання для різних типів автопарків;
- інтеграцію результатів у цифрові інструменти управління життєвим циклом транспорту;
- проведення поглибленого економічного аналізу ремонтних та модернізаційних рішень;
- застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення точності прогнозування технічного стану та ефективності експлуатації автотранспорту.

Отримані результати можуть слугувати основою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації експлуатації транспортних засобів та підвищення економічної ефективності автопарків.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Філь, Н. (2022). Моделі вибору обладнання для автосервісу. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (47), 48-54. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-19>.
2. Danilecki, K., Smurawski, P., & Urbanowicz, K. (2023). Optimization of Car Use Time for Different Maintenance and Repair Scenarios Based on Life Cycle Assessment. Applied Sciences, 13(17), 9843. <https://doi.org/10.3390/app13179843>.
3. Burnham, Andrew, Gohlke, David, Rush, Luke, Stephens, Thomas, Zhou, Yan, Delucchi, Mark A., Birky, Alicia, Hunter, Chad, Lin, Zhenhong, Ou, Shiqi, Xie, Fei, Proctor, Camron, Wiryadinata, Steven, Liu, Nawei, & Boloor, Madhur (2021). Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains. <https://doi.org/10.2172/1780970>.
4. Ulbrich D, Selech J, Kowalczyk J, Józwiak J, Durczak K, Gil L, Pieniak D, Paczkowska M, Przystupa K. Reliability Analysis for Unrepairable Automotive Components. Materials. 2021; 14(22):7014. <https://doi.org/10.3390/ma14227014>.
5. Wróblewski P, Lewicki W. A Method of Analyzing the Residual Values of Low-Emission Vehicles Based on a Selected Expert Method Taking into Account Stochastic Operational Parameters. Energies. 2021; 14(21):6859. <https://doi.org/10.3390/en14216859>.
6. Foad H. Gandoman, Abdollah Ahmadi, Peter Van den Bossche, Joeri Van Mierlo, Noshin Omar, Ali Esmaeel Nezhad, Hani Mavalizadeh, Clément Mayet, Status and future perspectives of reliability assessment for electric vehicles, Reliability Engineering & System Safety, Volume 183, 2019, Pages 1-16, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.013>.
7. Tortbayeva, D.R., Pernebekov, S.S., Ussipbayev, U.A., Shoibekov, B.Z., & Kazenova, A.O. (2023). Technical Maintenance of Vehicles: Improvement of Reliability of the Major Components and Units. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 25(3), B165-176. doi: 10.26552/com.C.2023.045.
8. Y. Lu, H. Ma, E. Smart and H. Yu, "Real-Time Performance-Focused Localization Techniques for Autonomous Vehicle: A Review," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 7, pp. 6082-6100, July 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3077800..

9. B. S. Babu, J. Kamalakannan, N. Meenatchi, S. K. S. M, K. S and S. Boopathi, "Economic impacts and reliability evaluation of battery by adopting Electric Vehicle," 2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS), Chennai, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPECTS56089.2022.10046786..
10. Kozłowski, E., Borucka, A., Oleszczuk, P., Jałowiec, T. (2023). Evaluation of the maintenance system readiness using the semi-Markov model taking into account hidden factors. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 25(4). <https://doi.org/10.17531/ein/172857>.
11. Oszczypała M, Ziolkowski J, Małachowski J. Modelling the Operation Process of Light Utility Vehicles in Transport Systems Using Monte Carlo Simulation and Semi-Markov Approach. *Energies*. 2023; 16(5):2210. <https://doi.org/10.3390/en16052210>.
12. Zhou X, Yang J, Wang J, Li J. Model and simulation of the fuzzy reliability assessment of the electric vehicle motor. *Advances in Mechanical Engineering*. 2022;14(8). doi:10.1177/16878132221120406
13. C. Jiang et al., "R2-RRT*: Reliability-Based Robust Mission Planning of Off-Road Autonomous Ground Vehicle Under Uncertain Terrain Environment," in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 1030-1046, April 2022, doi: 10.1109/TASE.2021.3050762.
14. Tanmoy Palit, A.B.M. Mainul Bari, Chitra Lekha Karmaker, An integrated Principal Component Analysis and Interpretive Structural Modeling approach for electric vehicle adoption decisions in sustainable transportation systems, *Decision Analytics Journal*, Volume 4, 2022, 100119, ISSN 2772-6622, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100119>.
15. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Олісевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо. – Львів «Афіша», 2004. – 492 с
16. Форнальчик Є. Ю. Експлуатаційна надійність автобусів міського громадського транспорту / Є. Ю. Форнальчик, М. А. Виджак // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - 2016. - Вип. 1. - С. 91-96. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2016_1_15.
17. Форнальчик Є. Ю. Визначення інтервалів руху та наповненості салонів транспортних засобів на міських маршрутах / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Демчук // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2016. - № 1. - С. 163-166. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2016_1_32.
18. Хаврук, В. (2021). Вплив техніко-експлуатаційних властивостей вантажних автомобілів на показники ефективності експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1(16), 168-175. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i16.519>
19. Аулін, В. В. Методи підвищення експлуатаційної надійності елементів ходової частини автомобіля / В. В. Аулін, В. В. Сандул, О. М. Маковкін // Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту : міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 листоп. 2018 р., м. Кропивницький : зб. наук. матеріалів / М-во освіти і науки України, Центральнотехніч. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. - С. 207-211.
20. Д. В. . Голуб, В. В. . Біліченко, В. В. . Аулін, А. С. Замуренко, і Р. П. . Кічура, «Методологічний підхід до розв'язання проблеми надійності функціонування автомобільних транспортних систем», *ВМТ*, вип. 19, вип. 1, с. 29–38, Лип 2024.
21. Канарчук В.Е. та ін. Надійність машин. – Київ: Либідь, 2003
22. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів : монографія [Електронний ресурс] / В. Д. Мигаль. – Харків : Майдан, 2018. – 262 с. – ISBN 978-966-372-704-2
23. Мигаль В. Д. Оцінка інтелектуальних якостей автомобілів / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедев, М. Л. Шуляк, Є. І. Калінін // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2019. - № 15. - С. 213-228. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalk_2019_15_22.
24. Dziedziak, P., Szczepański, T., Niewczas, A. & Słezak, M. (2021). Car reliability analysis based on periodic technical tests. *Open Engineering*, 11(1), 630-638. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0061>
25. Методи нарахування амортизації основних засобів. Електронний ресурс. Дата звернення 23.04.2025. Режим доступу: <https://services.uteka.ua/ua/publication/data-16-dannie-dlya-raschetov-58-metody-nachisleniya-amortizacii-osnovnyx-sredstv>
26. Методи нарахування амортизації основних засобів. Електронний ресурс. Дата звернення 23.04.2025. Режим доступу: <https://services.uteka.ua/ua/publication/data-16-dannie-dlya-raschetov-58-metody-nachisleniya-amortizacii-osnovnyx-sredstv>

27. Амортизація основних засобів: методи нарахування. Електронний ресурс. Дата звернення 23.04.2025. Режим доступу: <https://buhplatforma.com.ua/article/7267-amortizatsiya-osnovnih-zasobiv-na-pdprimstv-u-2021-rots>

28. Ошурков С. Методи нарахування амортизації. Електронний ресурс. Дата звернення 23.04.2025. Режим доступу: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/uchet-osnovnyx-sredstv/1060-metodi-naraxuvannya-amortizacz.html>

29. Амортизація основних засобів на підприємстві у 2024 році. Електронний ресурс. Дата звернення 23.04.2025. Режим доступу: <https://faktoria.kiev.ua/uk/amortizaciya-osnovnih-zasobiv-na-pidpriemstvi/>

REFERENCES

1. Fil, N. (2022). Models of selection of equipment for car service. Computer-integrated technologies: education, science, production, (47), 48-54. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-19>.
2. Danilecki, K., Smurawski, P., & Urbanowicz, K. (2023). Optimization of Car Use Time for Different Maintenance and Repair Scenarios Based on Life Cycle Assessment. Applied Sciences, 13(17), 9843. <https://doi.org/10.3390/app13179843>.
3. Burnham, Andrew, Gohlke, David, Rush, Luke, Stephens, Thomas, Zhou, Yan, Delucchi, Mark A., Birky, Alicia, Hunter, Chad, Lin, Zhenhong, Ou, Shiqi, Xie, Fei, Proctor, Camron, Wiryadinata, Steven, Liu, Nawei, & Boloor, Madhur (2021). Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains. <https://doi.org/10.2172/1780970>.
4. Ulbrich D, Selech J, Kowalczyk J, Józwiak J, Durczak K, Gil L, Pieniak D, Paczkowska M, Przystupa K. Reliability Analysis for Unrepairable Automotive Components. Materials. 2021; 14(22):7014. <https://doi.org/10.3390/ma14227014>.
5. Wróblewski P, Lewicki W. A Method of Analyzing the Residual Values of Low-Emission Vehicles Based on a Selected Expert Method Taking into Account Stochastic Operational Parameters. Energies. 2021; 14(21):6859. <https://doi.org/10.3390/en14216859>.
6. Foad H. Gandoman, Abdollah Ahmadi, Peter Van den Bossche, Joeri Van Mierlo, Noshin Omar, Ali Esmaeel Nezhad, Hani Mavalizadeh, Clément Mayet, Status and future perspectives of reliability assessment for electric vehicles, Reliability Engineering & System Safety, Volume 183, 2019, Pages 1-16, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.013>.
7. Tortbayeva, D.R., Pernebekov, S.S., Ussipbayev, U.A., Shoibekov, B.Z., & Kazenova, A.O. (2023). Technical Maintenance of Vehicles: Improvement of Reliability of the Major Components and Units. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 25(3), B165-176. doi: 10.26552/com.C.2023.045.
8. Y. Lu, H. Ma, E. Smart and H. Yu, "Real-Time Performance-Focused Localization Techniques for Autonomous Vehicles: A Review," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 7, pp. 6082-6100, July 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3077800..
9. B. S. Babu, J. Kamalakannan, N. Meenatchi, S. K. S. M, K. S and S. Boopathi, "Economic impacts and reliability evaluation of battery by adopting Electric Vehicle," 2022 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS), Chennai, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPECTS56089.2022.10046786..
10. Kozłowski, E., Borucka, A., Oleszczuk, P., Jałowicz, T. (2023). Evaluation of the maintenance system readiness using the semi-Markov model taking into account hidden factors. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 25(4). <https://doi.org/10.17531/ein/172857>.
11. Oszczypała M, Ziółkowski J, Małachowski J. Modeling the Operation Process of Light Utility Vehicles in Transport Systems Using Monte Carlo Simulation and Semi-Markov Approach. Energies. 2023; 16(5):2210. <https://doi.org/10.3390/en16052210>.
12. Zhou X, Yang J, Wang J, Li J. Model and simulation of the fuzzy reliability assessment of the electric vehicle motor. Advances in Mechanical Engineering. 2022;14(8). doi:10.1177/16878132221120406
13. C. Jiang et al., "R2-RRT*: Reliability-Based Robust Mission Planning of Off-Road Autonomous Ground Vehicle Under Uncertain Terrain Environment," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 19, no. 2, pp. 1030-1046, April 2022, doi: 10.1109/TASE.2021.3050762.
14. Tanmoy Palit, A.B.M. Mainul Bari, Chitra Lekha Karmaker, An integrated Principal Component Analysis and Interpretive Structural Modeling approach for electric vehicle adoption decisions in sustainable transportation systems, Decision Analytics Journal, Volume 4, 2022, 100119, ISSN 2772-6622, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100119>.

15. Fornalchyk E.Yu. Technical operation and reliability of vehicles / E.Yu. Fornalchyk, M.S. Oliskevich, O.L. Mastykash, R.A. Pelyo. – Lviv “Afisha”, 2004. – 492 p
16. Fornalchyk E.Yu. Operational reliability of city public transport buses / E.Yu. Fornalchyk, M.A. Vidzhak // Bulletin of the Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradsky. - 2016. - Issue. 1. - P. 91-96. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2016_1_15.
17. Fornalchyk E. Yu. Determination of movement intervals and occupancy of vehicle cabins on city routes / E. Yu. Fornalchyk, I. A. Demchuk // Modern technologies in mechanical engineering and transport. - 2016. - No. 1. - P. 163-166. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2016_1_32.
18. Havruk, V. (2021). The influence of technical and operational properties of trucks on indicators of operational efficiency. Modern technologies in mechanical engineering and transport, 1(16), 168-175. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i16.519>
19. Aulin, V. V. Methods for increasing the operational reliability of vehicle chassis elements / V. V. Aulin, V. V. Sandul, O. M. Makovkin // Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: international scientific-practical online conference, November 14-15, 2018, Kropyvnytskyi: collection of scientific materials / Ministry of Education and Science of Ukraine, Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi: TSNTU, 2018. - pp. 207-211.
20. D. V. . Holub, V. V. . Bilichenko, V. V. . Aulin, A. S. Zamurenko, and R. P. . Kichura, “Methodological approach to solving the problem of the reliability of the functioning of road transport systems”, VMT, vol. 19, vol. 1, p. 29–38, Jul 2024.
21. Kanarchuk V.E. et al. Reliability of machines. – Kyiv: Lybid, 2003
22. Mygal V.D. Intelligent systems in the technical operation of cars: monograph [Electronic resource] / V.D. Mygal. – Kharkiv: Maidan, 2018. – 262 p. – ISBN 978-966-372-704-2
23. Mygal V.D. Assessment of intellectual qualities of cars / V.D. Mygal, A.T. Lebedev, M.L. Shulyak, E.I. Kalinin // Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes. - 2019. - No. 15. - P. 213-228. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalc_2019_15_22.
24. Dziedziak, P., Szczepański, T., Niewczas, A. & Ślęzak, M. (2021). Car reliability analysis based on periodic technical tests. Open Engineering, 11(1), 630-638. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0061>
25. Methods of calculating depreciation of fixed assets. Electronic resource. Date of access 23.04.2025. Access mode: <https://services.uteka.ua/ua/publication/data-16-dannie-dlya-raschetov-58-metody-nachisleniya-amortizacii-osnovnyx-sredstv>
26. Methods of calculating depreciation of fixed assets. Electronic resource. Date of access 23.04.2025. Access mode: <https://services.uteka.ua/ua/publication/data-16-dannie-dlya-raschetov-58-metody-nachisleniya-amortizacii-osnovnyx-sredstv>
27. Depreciation of fixed assets: methods of calculation. Electronic resource. Access date 04/23/2025. Access mode: <https://buhplatforma.com.ua/article/7267-amortizatsiya-osnovnih-zasobiv-na-pidprimstv-u-2021-rots>
28. Oshurkov S. Methods of calculating depreciation. Electronic resource. Access date 04/23/2025. Access mode: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/uchet-osnovnyx-sredstv/1060-metodi-naraxuvannya-amortizacz.html>
29. Depreciation of fixed assets at the enterprise in 2024. Electronic resource. Date of application 04/23/2025. Access mode: <https://faktoria.kiev.ua/uk/amortizaciya-osnovnih-zasobiv-na-pidpriyemstvi/>

V. Dembitskyi, V. Samostian. Improving the Efficiency of Road Transport Management Based on the Assessment of its Reliability and Quality

The article considers theoretical and applied aspects of assessing the feasibility of further operation of vehicles that have lost part of their technical resource due to prolonged operation. Particular attention is paid to the problem of making informed decisions on the continuation of use or write-off of transport units, taking into account both technical condition and economic feasibility. In the context of the increase in the cost of new vehicles, the increase in prices for maintenance and repair, as well as the need to optimize fleet management costs, the relevance of this study is due to the need for a systematic approach to assessing the efficiency of operation of transport that has already partially exhausted its resource.

Within the framework of the study, a structure of the methodology for assessing the residual resource of vehicles was proposed, taking into account technical and economic indicators. Key parameters that influence decision-making were identified, in particular indicators of reliability, intensity of operation and the coefficient of technical readiness. A mathematical model was generalized, which allows for a formal

assessment of the feasibility of further operation of a particular vehicle, taking into account real operational data, as well as for predicting the efficiency of further use of the vehicle.

Prospects for further research are outlined, including taking into account external operating factors, adapting the model to different types of vehicles, using artificial intelligence and machine learning methods to increase the accuracy of forecasts of technical condition and operational efficiency. The study has practical value for transport logistics entities, fleet managers, as well as scientists dealing with issues of the efficiency of technical operation of transport.

Keywords: operational feasibility, vehicles, technical resource, residual resource, technical and economic assessment, efficiency of use, wear, maintainability, fleet management, mathematical model, decision-making, transport logistics.

ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, ЛНТУ, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: cvmbf@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Valerii DEMBITSKYI, PhD. in Engineering associate professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

Viktor SAMOSTIAN, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: svrmbf@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

DOI 10.36910/automash.v1i24.1723