

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Забезпечення надійності автотранспортних засобів є ключовим завданням сучасних транспортних організацій. Існуючі системи технічного обслуговування не повністю відповідають вимогам економічності та безперервності, що зумовлює потребу у нових методологічних підходах. Прогнозування технічного стану автомобілів та їх агрегатів, засноване на прямих і системних методах, дозволяє оптимізувати профілактичні роботи, скоротити простой та витрати. Подальший розвиток системних методів у поєднанні з цифровими технологіями відкриває перспективи створення адаптивних стратегій управління надійністю.

Ключові слова: надійність автотранспортних засобів, технічне обслуговування і ремонт, прогнозування технічного стану, запасні частини, управління автопарком.

Abstract

Ensuring the reliability of motor vehicles is a key task for modern transport organizations. Existing maintenance systems do not fully meet the requirements of cost-efficiency and continuity, which necessitates new methodological approaches. Forecasting the technical condition of vehicles and their components, based on direct and systemic methods, enables optimization of preventive maintenance, reduction of downtime and costs. The further development of systemic methods combined with digital technologies opens prospects for adaptive reliability management strategies.

Key words: reliability of motor vehicles, maintenance and repair, forecasting of technical condition, spare parts, fleet management.

Надійність автотранспортних засобів (АТЗ) є одним із ключових чинників, що визначають ефективність функціонування транспортних організацій та рівень безпеки дорожнього руху (БДР) [1]. В умовах інтенсивної експлуатації автомобільного парку питання підтримання високого рівня технічної готовності набуває особливої актуальності, адже від цього залежить безперервність перевізного процесу, економічна стабільність підприємства та якість транспортних послуг [2].

Сучасні системи технічного обслуговування і ремонту, які застосовуються на автотранспортних підприємствах, не завжди відповідають зростаючим вимогам економічності, точності та індивідуалізації підходів до управління технічним станом рухомого складу. Недостатня увага до прогнозування відмов та оптимізації використання запасних частин призводить до збільшення простоїв, зростання витрат на ремонт і зниження рівня безпеки [3].

Таким чином, проблема надійності АТЗ виходить за межі суто технічної сфери й стає стратегічним завданням управління автопарком [4]. Вона безпосередньо впливає на конкурентоспроможність транспортних підприємств, їх здатність забезпечувати стабільні перевезення та відповідати міжнародним стандартам безпеки. У цьому контексті актуальним є пошук і впровадження методологічних підходів, які дозволяють комплексно оцінювати та управляти надійністю автомобілів у процесі експлуатації, інтегруючи інформаційні системи, моделювання та сучасні логістичні принципи [5, 6].

Надійність АТЗ у науково-технічному контексті визначається як комплексна властивість, що характеризує здатність автомобіля, його вузлів та агрегатів виконувати задані функції протягом певного часу або пробігу без відмов, збереженням експлуатаційних параметрів у допустимих межах [7]. У транспортних системах надійність виступає інтегральним показником, який поєднує безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість. Вона безпосередньо впливає на ефективність роботи автопарку, рівень БДР та економічні показники діяльності підприємства.

Управління надійністю передбачає системний підхід, що включає:

- моніторинг технічного стану транспортних засобів;

- прогнозування ресурсу вузлів та агрегатів;
- оптимізацію програм технічного обслуговування і ремонту;
- планування запасів запасних частин для забезпечення безперебійності експлуатації.

Для забезпечення високого рівня надійності АТЗ застосовуються міжнародні та національні стандарти, які формують методологічну основу управління:

- ISO 9001 (Системи управління якістю) – визначає вимоги до процесів управління якістю, включаючи документування процедур технічного обслуговування, контроль відповідності та постійне вдосконалення.

- ISO 39001 (Системи управління безпекою дорожнього руху) – встановлює вимоги до організацій, що впливають на БДР, зокрема через управління технічним станом АТЗ, зниження ризику аварійності та підвищення рівня безпеки перевезень.

- ДСТУ (державні стандарти України) – адаптують міжнародні вимоги до національних умов, регламентують порядок проведення технічного обслуговування, ремонту та оцінювання надійності автопарку.

Одним із базових напрямів управління надійністю є використання статистичних моделей, що дозволяють прогнозувати ймовірність відмов вузлів та агрегатів [8]. До них належать регресійні моделі, які встановлюють залежність між технічним станом і напрацюванням, а також методи теорії ймовірностей, що описують інтенсивність відмов та середній час безвідмовної роботи. Наприклад, ймовірність безвідмовної роботи може бути виражена формулою

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність відмов; t – час експлуатації.

Для комплексного аналізу надійності застосовуються методи управління ризиками [2, 5]:

- FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – ідентифікація можливих відмов та їх наслідків, визначення критичних вузлів;

- Fault Tree Analysis (FTA) – побудова дерева відмов для аналізу причинно-наслідкових зв'язків;

- сценарний аналіз – моделювання різних умов експлуатації та прогнозування наслідків відмов.

Ці методи дозволяють не лише оцінити ймовірність відмов, а й визначити їх вплив на безпеку та економічну ефективність.

Для кількісного оцінювання надійності використовуються ключові показники ефективності (КПІ):

- коефіцієнт технічної готовності

$$K_{tg} = \frac{T_R}{T_R + T_{PR}}, \quad (2)$$

де T_R – сумарний час роботи транспортного засобу без відмов (період справної експлуатації);

T_{PR} – сумарний час простою, пов'язаний із технічним обслуговуванням та ремонтами.

- середній час простою

$$T_{PR} = \frac{\sum t_{rem}}{N_{vid}}, \quad (3)$$

де $\sum t_{rem}$ – загальний час, витрачений на ремонт усіх відмов за певний період; N_{vid} – кількість відмов (несправностей), що сталися протягом періоду експлуатації.

- витрати на ремонт – інтегральний показник, що враховує вартість запасних частин, робіт та простоїв.

Ці КПІ дозволяють порівнювати різні стратегії технічного обслуговування та визначати оптимальні рішення.

Сучасні методологічні підходи неможливі без цифрових інструментів [6]:

- телематика – збір даних про технічний стан у реальному часі;

- IoT (Internet of Things) – інтеграція датчиків та систем моніторингу для прогнозування відмов;

- машинне навчання – побудова моделей прогнозування на основі великих масивів даних, що дозволяє переходити від реактивного до превентивного управління.

Для порівняння ефективності цих підходів було сформовано таблицю 1.

Впровадження методологічних підходів до управління надійністю автотранспортних засобів забезпечує суттєве зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт. Завдяки прогнозуванню

відмов і оптимізації планування запасних частин скорочується кількість незапланованих простоїв, що безпосередньо впливає на продуктивність автопарку. Використання телематики та систем IoT дозволяє автоматизувати процеси діагностики, зменшити потребу у надлишкових запасах та оптимізувати використання персоналу. У результаті підприємство отримує економію коштів, підвищує рентабельність перевізних процесів і забезпечує стабільність логістичних операцій.

Таблиця 1 – Порівняння методологічних підходів до управління надійністю АТЗ

Підхід	Переваги	Недоліки	Приклади застосування
Статистичні моделі	Простота, математична обґрунтованість	Не враховують зовнішні фактори	Прогноз відмов за пробігом
Ризик-орієнтовані методи	Врахування наслідків, системність	Висока трудомісткість	FMEA, Fault Tree Analysis
KPI-системи	Кількісна оцінка ефективності	Потребують якісних даних	Оцінка готовності автопарку
Цифрові технології	Висока точність, автоматизація	Висока вартість впровадження	Телематика, IoT, ML-моделі

Системне управління надійністю (рис. 1) сприяє зменшенню кількості технічних відмов у процесі експлуатації, що безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху [9]. Використання ризик-орієнтованих методів (FMEA, Fault Tree Analysis) дозволяє ідентифікувати критичні вузли та запобігати аварійним ситуаціям. Прогнозування технічного стану забезпечує своєчасне проведення профілактичних робіт, що підвищує якість транспортних послуг і рівень довіри клієнтів. Таким чином, підприємство отримує конкурентні переваги завдяки стабільності перевезень, зниженню ризиків та відповідності міжнародним стандартам безпеки.

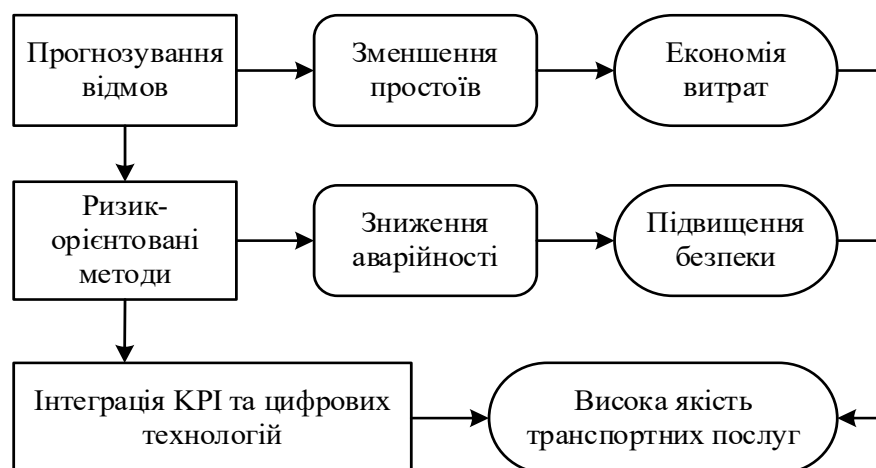


Рисунок 1 – Узагальнена схема ефектів

Таким чином, результати впровадження нових методологічних підходів до управління надійністю автотransпортних засобів формують основу системного управління технічним станом автопарку. Вони дозволяють інтегрувати інформаційні бази, моделі прогнозування та розрахунково-технологічні інструменти в єдину систему, що забезпечує комплексний контроль і оптимізацію процесів технічного обслуговування та ремонту. Завдяки цьому підприємства отримують можливість не лише зменшувати витрати та скорочувати простої, але й підвищувати рівень безпеки дорожнього руху та якість транспортних послуг. Методологічні підходи виступають ключовим елементом у переході від реактивного до превентивного управління, що відповідає сучасним вимогам логістики та міжнародним стандартам ISO/ДСТУ.

Подальший розвиток системи управління надійністю автотransпортних засобів передбачає:

- цифровізацію процесів – впровадження телематики, IoT та машинного навчання для автоматизованого моніторингу технічного стану.
- інтеграцію з ERP-системами – узгодження управління технічним станом із фінансовими, логістичними та кадровими модулями підприємства.

- використання Big Data – аналіз великих масивів експлуатаційних даних для побудови адаптивних моделей прогнозування та оптимізації стратегій технічного обслуговування.
- розвиток адаптаційних методів прогнозування – створення моделей, здатних враховувати змінні зовнішні умови та взаємозалежності між агрегатами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.
2. Zhang S., Huang K., Yuan Y. Spare Parts Inventory Management: A Literature Review. Sustainability. 2021. 13(5), 2460. <https://doi.org/10.3390/su13052460>.
3. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1(19), С. 68-74. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-68-74>.
4. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Невизначеність та її вплив на формування запасів запасних частин для забезпечення ефективності транспортних процесів. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №2. С. 74-80. <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.74>.
5. Sherly A., Christo M. S., Elizabeth J. V. A hybrid approach to time series forecasting: Integrating ARIMA and Prophet for improved accuracy. Results in Engineering. 2025, 27, 105703. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105703>.
6. Singh U., Saurabh K., Trehan N. et al. GA-LSTM: Performance Optimization of LSTM driven Time Series Forecasting. Computational Economics. 2025, 66, P. 2873–2908. <https://doi.org/10.1007/s10614-024-10769-0>.
7. Кашканов А. А., Біліченко В. В. Експлуатація та обслуговування транспортних машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 136 с.
8. Boylan J., Syntetos A. Intermittent Demand Forecasting: Context, Methods and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2021. 400 p. <https://doi.org/10.1002/9781119135289>.
9. Kashkanova A. Methods for assessing the risk of accidents in the driver-vehicle-road-environment system. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2025, vol. 109, no 3, 41-61. <https://doi.org/10.14669/AM/207102>.

Кашканов Андрій Альбертович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Дышкант Сергій Павлович – магістрант, група ІАТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: siroga125dyshkant@gmail.com

Kashkanov Andrii – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Dyshkant Serhii – magistrate, Faculty Machine Building and Transport, Vinnytsia National Technical University, e-mail: siroga125dyshkant@gmail.com