УДК 656.1:629.113:004.9

А. А. Кашканов,
С. Л. Майданевич

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Ефективність гальмівних систем визначає рівень безпеки дорожнього руху, а зчіпна здатність шин із покриттям безпосередньо впливає на довжину гальмівного шляху. Традиційні методи діагностики здебільшого реактивні, тоді як цифрові технології забезпечують безперервний моніторинг, прогнозування відмов та превентивне обслуговування. Використання сенсорних мереж, IoT та алгоритмів машинного навчання дозволяє аналізувати параметри гальмування й стан шин, своєчасно виявляти ризики та інформувати водія. Це сприяє переходу до превентивного управління технічним станом, зниженню аварійності та формуванню сучасної культури безпеки руху.

Ключові слова: цифровий моніторинг; діагностика гальмівних систем; безпека дорожнього руху; зчіпна здатність шин; телематика; штучний інтелект.

Abstract

Brake system efficiency is a critical factor in road safety, directly linked to vehicle stability and accident prevention. Traditional diagnostic methods are reactive, detecting failures only after they occur. Digital technologies, by contrast, enable continuous monitoring, predictive diagnostics, and preventive maintenance. Sensor networks, IoT solutions, and machine learning algorithms provide real-time analysis of braking parameters and tire-road adhesion, allowing early risk detection and timely driver alerts. This approach reduces accident rates, optimizes maintenance costs, and fosters a modern culture of proactive road safety.

Key words: digital monitoring; brake system diagnostics; road traffic safety; tire-road adhesion; telematics; artificial intelligence.

Гальмівна система є одним із ключових елементів, що визначає рівень безпеки дорожнього руху [1]. Її ефективність залежить не лише від технічного стану механізмів, а й від зчіпної здатності шин з дорожнім покриттям [2, 3]. У критичних ситуаціях саме взаємодія «гальмівна система – шини – дорога» визначає довжину гальмівного шляху та стабільність автомобіля [4]. Традиційні методи контролю технічного стану часто мають реактивний характер, тоді як цифрові технології дозволяють здійснювати превентивний моніторинг, прогнозувати відмови та враховувати змінні фактори дорожніх умов [5, 6].

Аналіз останніх публікацій за тематикою дослідження засвідчує зростаючу наукову зацікавленість у таких напрямах [4, 5, 7-10]:

- розробка та впровадження цифрових технологій моніторингу технічного стану транспортних засобів;
- застосування сенсорних систем та телематичних рішень для контролю параметрів гальмівних механізмів;
- використання алгоритмів машинного навчання та аналітики великих даних для прогнозування відмов;
- дослідження впливу зчіпної здатності шин із дорожнім покриттям на ефективність гальмування;
- інтеграція діагностичних платформ у бортові системи та транспортну інфраструктуру;
- стандартизація та нормативне забезпечення цифрового моніторингу у сфері безпеки дорожнього руху.

Роль цифрових технологій у забезпеченні комплексного контролю гальмівної ефективності, включно з моніторингом зчіпних характеристик шин, доцільно визначати як ключовий чинник формування сучасної системи безпеки дорожнього руху.

Застосування сенсорних мереж, телематичних рішень та алгоритмів машинного навчання створює умови для інтегрованого аналізу технічного стану гальмівних механізмів і шинної взаємодії з дорожнім покриттям. Такий підхід дозволяє не лише своєчасно виявляти потенційні відмови, а й прогнозувати критичні ситуації, що виникають унаслідок зниження коефіцієнта зчеплення. У результаті цифровий моніторинг (рис. 1) трансформує систему технічного контролю від реактивної моделі до превентивної (табл. 1), сприяючи зниженню аварійності, оптимізації витрат на обслуговування та формуванню нових стандартів безпеки експлуатації автомобільного транспорту.

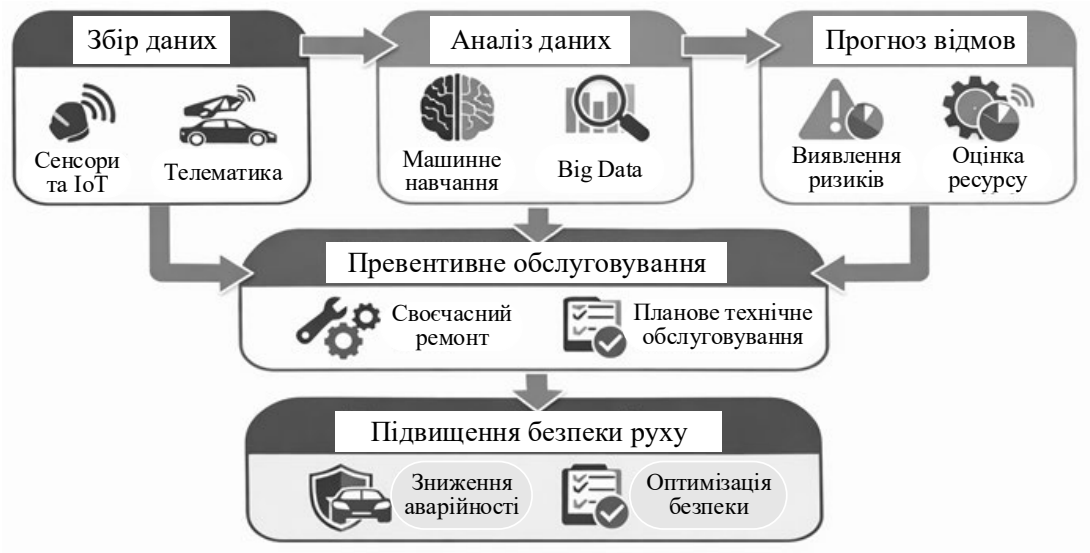


Рисунок 1 – Цифровий моніторинг та діагностика гальмівних систем для підвищення безпеки руху

Як видно з рис. 1, на першому етапі сенсори, телематичні пристрої та IoT-модулі фіксують ключові параметри роботи гальмівної системи – тиск, температуру, знос. Ці дані передаються у цифрову платформу для подальшої обробки. Зібрана інформація обробляється за допомогою алгоритмів машинного навчання та аналітики великих даних. Це дозволяє виявити приховані закономірності та оцінити технічний стан системи. На основі аналізу формується прогноз щодо можливих відмов або критичних відхилень. Система визначає залишковий ресурс компонентів і сигналізує про ризики. Отримані прогнози дозволяють своєчасно планувати ремонт або заміну елементів гальмівної системи. Це мінімізує ймовірність аварій та знижує витрати на обслуговування. Завдяки цифровому моніторингу забезпечується системний контроль технічного стану, що сприяє зниженню аварійності та формуванню нових стандартів транспортної безпеки.

Таблиця 1 – Порівняння традиційних і цифрових методів діагностики гальмівних систем

Критерій	Традиційні методи	Цифрові технології моніторингу та діагностики
Характер контролю	Періодичний, під час планового ТО	Безперервний, у режимі реального часу
Інструменти	Візуальний огляд, механічні вимірювання	Сенсорні мережі, IoT-пристрої, телематика
Доступність даних	Лише у сервісному центрі	Онлайн-доступ для водія, сервісу та операторів
Виявлення відмов	Після фактичного прояву проблеми	Прогнозування відмов за допомогою алгоритмів
Обробка інформації	Локальна, без системного аналізу	Машинне навчання, аналітика великих даних
Реакція на несправності	Реактивна (ремонт після поломки)	Превентивна (заміна до критичного стану)
Витрати на обслуговування	Вищі через непередбачувані ремонти	Оптимізовані завдяки плануванню за даними
Вплив на безпеку руху	Частковий, залежить від дисципліни водія	Системний, інтегрований у транспортну інфраструктуру

Для забезпечення високого рівня надійності та безпеки експлуатації автомобільного транспорту застосовується комплекс міжнародних та національних нормативів, які визначають методологічні засади управління технічним станом та організацією процесів (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння міжнародних та національних стандартів у сфері управління якістю та безпекою АТЗ

Стандарт	Сфера застосування	Основні положення	Вплив на безпеку та надійність
ISO 9001	Системи управління якістю	Встановлює вимоги до процесів управління якістю, документування процедур, контролю відповідності та постійного вдосконалення	Забезпечує системність у технічному обслуговуванні, підвищує рівень надійності автопарку
ISO 39001	Системи управління безпекою дорожнього руху	Регламентує діяльність організацій, що впливають на БДР; визначає механізми управління технічним станом АТЗ та мінімізації ризиків	Сприяє зниженню аварійності, формує системний підхід до безпеки перевезень
ДСТУ	Національні стандарти України	Адаптують міжнародні вимоги до українських умов; регламентують порядок проведення ТО, ремонту та оцінювання надійності	Забезпечують відповідність автопарку національним нормам, створюють правову основу для контролю та сертифікації

Таким чином, стандарти виступають не лише інструментом регламентації, а й методологічною основою для формування системи управління якістю та безпекою експлуатації автомобільного транспорту.

Висновок

Цифрові технології моніторингу та діагностики гальмівних систем у поєднанні з контролем зчіпної здатності шин створюють комплексну систему управління ризиками. Вони забезпечують перехід від реактивного до превентивного обслуговування, знижують аварійність та формують нову культуру безпеки руху. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію таких систем у нормативну базу та розвиток міжнародних стандартів транспортної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Kashkanov A. A., Rotshtein A. P., Kucheruk V. Yu., Kashkanov V. A. Tyre-Road friction Coefficient: Estimation Adaptive System. Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series. 2020, 2(98), 50-59. https://doi.org/10.31489/2020Ph2/50-59.
3. Bogomolov V. A., Klimenko V. I., Leontiev D. N., Ponikarovska S. V., Kashkanov A. A., Kucheruk V. Yu. Plotting the adhesion utilization curves for multi-axle vehicles. Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series. 2021, 1(101), 35-45. https://doi.org/10.31489/2021Ph1/35-45.
4. Kashkanov A., Semenov A., Kashkanova A., Kryvinska N., Palchevskyi O., Baraban S. Estimating the effectiveness of electric vehicles braking when determining the circumstances of a traffic accident. Scientific Reports. 2023, 13, 19916, 1-18. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47123-7.
5. Volkov, V., Volkova, T., Kuzhel, V., Kyrytsya, I., Vishtak, I. (2025). Intelligent Manufacturing Systems for Controlling the Technical Condition of Vehicles in the Life Cycle. In: Ivanov, V., Silva, F.J.G., Trojanowska, J., Pinto, A.M.G. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. P. 241-254. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95211-1_21.
6. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.
7. Буряк В., Кашканов А. Інтелектуальні системи моніторингу в логістиці зернових: вплив на експлуатаційні витрати автомобільного транспорту. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2025, 28, С. 6-13. https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.28.0.1.
8. Babenko V., Mukashev T., Liubokhynets L., Iurchenko M. et al. Managing Transport Systems with Artificial Intelligence. Journal of Information Technology Management. 2025, 17(2), P. 13-27. https://doi.org/10.22059/jitm.2025.101574.
9. 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.

10. Mahale Y., Kolhar S., More A. S. A comprehensive review on artificial intelligence driven predictive maintenance in vehicles: technologies, challenges and future research directions. Discover Applied Sciences. 2025, 7, 243. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06681-3.

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

Майданевич Сергій Леонідович – магістрант, група 1ТТ-24мз, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: maidanevych95@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

Maidanevych Serhii – magistrate, Faculty Machine Building and Transport, Vinnytsia National Technical University, e-mail: maidanevych95@gmail.com