УДК 656.07:656.1:629.33:658.7

А. А. Кашканов,
В. В. Буряк,
М. Л. Москалюк

ТЕХНІЧНА ГОТОВНІСТЬ АВТОПАРКУ ЯК КЛЮЧОВИЙ ЧИННИК БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УМОВАХ СЕЗОННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження висвітлює значення оптимізації логістики запасних частин для забезпечення технічної готовності автопарку у зернових перевезеннях. Показано, що сезонні навантаження та інтенсивна експлуатація підвищують ризики аварійності. Обґрунтовано необхідність цифрових систем прогнозування, телематики та стратегічних резервів критичних деталей. Запропоновані рекомендації спрямовані на скорочення простоїв, зниження аварійних ремонтів та підвищення безпеки руху.

Ключові слова: оптимізація логістики; запасні частини; перевезення зернових культур; автомобільний транспорт; технічне обслуговування; телематика; аварійність; безпека дорожнього руху.

Abstract

The research highlights the importance of spare parts logistics optimization in ensuring vehicle fleet readiness for grain transport. Seasonal workload peaks and intensive use increase accident risks. The study emphasizes the need for digital forecasting, telematics, and strategic reserves of critical components. Recommendations aim to reduce downtime, minimize emergency repairs, and improve road safety.

Key words: spare parts logistics, grain transportation, road vehicles, predictive maintenance, telematics, accident reduction, road safety, supply chain optimisation.

Інтенсивні зернові перевезення в період жнив створюють критичні виклики для автомобільного транспорту, зумовлюючи швидке зношування техніки та зростання ризику аварій [1]. У таких умовах технічна готовність автопарку стає визначальним чинником безпеки дорожнього руху [2]. Дефіцит або затримки постачання запасних частин призводять до простоїв і підвищують ймовірність аварійності, що має як економічні, так і соціальні наслідки. Оптимізація логістики запасних частин та своєчасне технічне обслуговування є стратегічною передумовою стабільного функціонування транспортної системи та зниження ризиків у періоди сезонних пікових навантажень [3, 4].

На підставі огляду публікацій останніх років виокремлено провідні напрями досліджень, що стосуються логістики запасних частин та її впливу на безпеку дорожнього руху. До них належать: розробка інтелектуальних систем управління запасами [7], прогнозно-орієнтовані підходи до технічного обслуговування [8], оптимізація мереж постачання й розподілу [9], впровадження принципів сталого розвитку в управлінні запасами [10], аналіз безпеки транспортних систем та факторів аварійності [11, 12], а також специфіка логістики запасних частин у сезонних перевезеннях [13]. Ці напрями формують міждисциплінарну платформу для розробки цифрових рішень, що підвищують технічну готовність автопарків і зменшують ризики аварійності.

У сезон збору врожаю інтенсивність перевезень зерна різко зростає, що спричиняє перевантаження транспортної мережі та прискорене зношування автомобілів. Машини працюють майже безупинно, інтервали між техоглядами скорочуються, а ймовірність відмов зростає. Такий режим експлуатації висуває додаткові вимоги до системи забезпечення запчастинами, яка має швидко реагувати на сезонні пікові потреби.

У перевезеннях зерна автомобільним транспортом інтенсивна робота машин часто призводить до несправностей у гальмівній системі, ходовій частині, трансмісії та охолодженні двигуна. Значні навантаження на підвіску й кузов зерновозів особливо проявляються на дорогах із низькою якістю покриття, що збільшує кількість поломок. Вихід з ладу ключових вузлів безпосередньо загрожує безпеці руху, адже може спричинити втрату контролю над автомобілем.

Функціональна залежність між тривалістю простою та часом постачання запасних частин на початковому етапі може бути виражена у вигляді простої лінійної моделі

$$P = \alpha \cdot T + \beta, \tag{1}$$

де P – рівень простоїв автопарку (%), T – середній час постачання запасних частин (днів), α – коефіцієнт чутливості автопарку до затримок, β – базовий рівень простоїв у нормальних умовах.

Така залежність показує, що зі збільшенням часу постачання деталей простої транспортних засобів зростають прямо пропорційно. На практиці це означає: чим довше очікування на запчастини, тим більша кількість машин залишається неробочою, що знижує ефективність перевезень і підвищує ризики експлуатації техніки у неналежному стані.

При збільшенні часу постачання понад 5 днів рівень простоїв зростає експоненційно

$$P = P_0 \cdot e^{k \cdot (T - T_k)}, \quad T > T_k, \tag{2}$$

де P_0 – базовий рівень простоїв при нормальних умовах (наприклад, 5 %), T_k – критичний поріг часу постачання (5 діб), k – коефіцієнт експоненційного зростання (характеризує чутливість системи до затримок).

Якщо ($T \le T_k$), рівень простоїв залишається близьким до базового (P_0). Якщо ($T > T_k$), простої починають зростати експоненційно, що відображає різке погіршення технічної готовності автопарку, тобто після перевищення порогу у 5 днів рівень простоїв зростає лавиноподібно (T = 6 діб, P = 6,1%; T = 10 діб, P = 13,6%; T = 15 діб, P = 36,9%).

Поєднання сезонних пікових навантажень, інтенсивної експлуатації автопарку та слабкої гнучкості системи постачання запчастин формує потребу у впровадженні вдосконалених логістичних рішень. Їхня реалізація має бути спрямована на:

- підтримання технічної готовності транспортних засобів;
- мінімізацію простоїв;
- зменшення аварійності;
- підвищення продуктивності та конкурентних переваг перевізників.

Узагальнення проблем зернових перевезень автомобільним транспортом дає підстави для комплексної оптимізації логістики запасних частин. Саме вона виступає визначальним чинником у забезпеченні безпеки дорожнього руху (табл. 1) та відповідності сучасним вимогам транспортної надійності.

Таблиця 1 – Влив затримок постачання на аварійність

Час постачання запасних частин (днів)	Рівень технічної готовності автопарку (%)	Імовірність аварійних ситуацій (%)	Коментар
1–2	95–98	<2	Оптимальний режим, аварійність мінімальна
3–5	85–90	5–8	Допустимий рівень, потребує моніторингу
6–10	70–80	10–15	Високий ризик, необхідна оптимізація логістики
>10	<65	>20	Критичний рівень, загроза безпеці руху

Для оцінки ризику аварійності залежно від стану автопарку та затримок у постачанні можна скористатися залежністю

$$R = \frac{(100 - G) \cdot A}{100}, \tag{3}$$

де R – інтегральний показник ризику, G – рівень технічної готовності автопарку (%), A – імовірність аварійних ситуацій (%).

Основними чинниками, що визначають потребу у запасних частинах для автопарку, виступають пробіг, інтенсивність експлуатації, сезонні піки та історичні дані про відмови. Пробіг автомобіля прямо впливає на ймовірність виходу з ладу вузлів і може бути врахований через лінійну регресію. Інтенсивність використання транспорту створює високий рівень ризику поломок, що відображається у застосуванні коефіцієнта навантаження. Сезонні пікові періоди мають особливо сильний вплив, тому для їх урахування використовуються спеціальні сезонні коефіцієнти. Історичні дані про відмови забезпечують середній рівень прогнозної точності та можуть бути інтегровані за допомогою методів машинного навчання. Така систематизація дозволяє формувати більш обґрунтовані прогнози щодо потреби у запасних частинах та оптимізувати логістичні процеси.

Телематичні технології дають змогу здійснювати безперервний контроль технічного стану автомобіля. Вони фіксують роботу двигуна, гальмівної системи, трансмісії та інших важливих вузлів, що дозволяє своєчасно виявляти ознаки зношування й прогнозувати потребу у заміні деталей. Завдяки цьому зменшується ймовірність критичних відмов і підвищується рівень безпеки руху.

Залежність аварійності від рівня телематичного контролю має вигляд

$$A = A_0 \cdot e^{-k \cdot C}, \tag{4}$$

де A – аварійність (%), A_0 – базовий рівень аварійності без телематики, C – рівень покриття автопарку телематичними системами (%), k – коефіцієнт ефективності телематики.

Аналіз залежності (4) показує, що при охопленні понад 70 % автопарку телематичними системами аварійність знижується більше ніж удвічі.

Сезонні перевезення зерна потребують адаптивної системи постачання запчастин. Використання регіональних складів, мобільних сервісів та партнерських угод скорочує час доставки й зменшує простої. Модель «just-in-time» забезпечує надходження деталей у потрібний момент без надмірного складування. Традиційна схема доставки триває 7–10 днів, вимагає високих запасів і має середній ризик простоїв. Регіональні склади скорочують час до 3–5 днів, знижують рівень запасів і мінімізують ризики. «Just-in-time» забезпечує доставку за 1–2 дні, потребує мінімальних запасів і дозволяє досягти дуже низького рівня простоїв.

Методика вдосконалення логістики запасних частин у зернових перевезеннях автомобільним транспортом ґрунтується на інтеграції цифрових інструментів прогнозування, телематичного контролю, гнучких схем постачання та уніфікованих процедур техобслуговування. Її застосування дозволяє скоротити простої, зменшити аварійність і підвищити конкурентні переваги транспортних компаній. Цільова функція оптимізаційної моделі логістики запасних частин, спрямована на мінімізацію сумарних витрат, має вигляд

$$F = C_{zap} + C_{pr} + C_{av} \rightarrow \min, \tag{5}$$

де C_{zap} – витрати на утримання запасів, C_{pr} – витрати, пов’язані з простоєм автопарку, C_{av} – витрати, спричинені аварійними відмовами.

Оптимізація логістики запасних частин у зернових перевезеннях має подвійний ефект – економічний та соціальний. З економічного боку вона зменшує витрати на аварійні ремонти, скорочує простої, підвищує коефіцієнт використання автопарку та раціоналізує складські витрати. Наприклад, після впровадження оптимізації витрати на ремонти знижуються на 30 %, середній час простою скорочується на третину, використання автопарку зростає на 20 %, а складські витрати зменшуються на 15 %. Соціальний ефект проявляється у зниженні аварійності на 15–20 %, зростанні довіри до транспортних компаній, посиленні соціальної стабільності в регіонах та відповідності міжнародним стандартам безпеки й надійності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кашканов А.А., Буряк В.В. Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024, 1(22), С. 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357.
2. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць: навчальний посібник. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2018. 113 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Kashkanov_2017_113.pdf (дата звернення: 04.03.2026).

3. 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.
4. 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.
5. Кашканов А. А., Буряк В.В., Москалюк М.Л. Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ. 2023, С. 154-156. https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk_STPR_AT_2023.pdf.
6. Büyüközkan G., Çifçi G. Extending QFD with Pythagorean Fuzzy Sets for Sustainable Supply Chain Management. In: Kahraman C., Cebi S., Cevik Onar S., Oztaysi B., Tolga A., Sari I. (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making. INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020, vol 1029. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_17.
7. Москалюк М.Л., Кашканов А.А. Управління запасами запасних частин у логістиці автомобільних перевезень в умовах багатофакторної невизначеності. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2025, 2(25), С. 230-238. https://doi.org/10.36910/automash.v2i25.1931.
8. Gawande P.D. Integrating AI-Driven Predictive Maintenance with Telematics: A Data-Centric Approach. Sarcouncil Journal of Engineering and Computer Sciences. 2025, 4(7), P. 456-462. https://doi.org/10.5281/zenodo.15862327.
9. 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. https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7894/Antonyuk_O.pdf.
10. Zhang, S., Huang, K., & Yuan, Y. Spare Parts Inventory Management: A Literature Review. Sustainability. (2021), 13(5), 2460. https://doi.org/10.3390/su13052460.
11. Kashkanova A., Rotshtein A., Kashkanov A., Katelnikov D. Intelligent model for reliability control and safety in urban transport systems. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska. 2025, 15(4), P. 100-107. https://doi.org/10.35784/iapgos.8276.
12. Wang J, Ma S, Jiao P, Ji L, Sun X, Lu H. Analyzing the risk factors of traffic accident severity using a combination of random forest and association rules. Applied Sciences. 2023, 13(14), 8559. https://doi.org/10.3390/app13148559.
13. Touloumidis D., Madas M., Zeimpekis V., Ayfantopoulou G. Weather-Related Disruptions in Transportation and Logistics: A Systematic Literature Review and a Policy Implementation Roadmap. *Logistics*. 2025, 9(1), 32. https://doi.org/10.3390/logistics9010032.

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

Буряк Валерій Володимирович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: btr.vl@i.ua

Москалюк Микола Леонідович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: moskalyuk255@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

Buriak Valerii – Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: btr.vl@i.ua

Moskaliuk Mykola – Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: moskalyuk255@gmail.com