

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

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИКИ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН У ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЯК ЧИННИК ЗНИЖЕННЯ АВАРІЙНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

У статті досліджується значення оптимізації логістики запасних частин у забезпеченні надійності та безпеки автомобільного транспорту, що використовується для перевезення зернових культур. Перевезення зерна мають специфічні особливості, пов'язані із сезонними піками навантаження, високою інтенсивністю експлуатації автопарку та підвищеними вимогами до технічної готовності транспортних засобів. У таких умовах своєчасне постачання та раціональне управління запасними частинами стають критично важливими факторами, які безпосередньо впливають на рівень аварійності та ефективність перевізників. Проаналізовано типові відмови та несправності, що виникають у процесі перевезень зернових культур, а також їхній вплив на безпеку дорожнього руху. Обґрунтовано необхідність впровадження сучасних цифрових систем прогнозування потреби у запасних частинах, інтеграції телематичних технологій для моніторингу технічного стану автомобілів та створення гнучких ланцюгів постачання, здатних реагувати на сезонні коливання попиту. Особливу увагу приділено формуванню стратегічних резервів критичних деталей у регіонах з високою концентрацією зернових перевезень, стандартизації протоколів технічного обслуговування та підготовці персоналу до роботи в умовах інтенсивного транспортного навантаження. Запропоновано практичні рекомендації щодо оптимізації логістики запасних частин, які дозволяють скоротити час простоїв, зменшити кількість аварійних ремонтів та підвищити конкурентоспроможність транспортних компаній. Доведено, що системний підхід до управління запасами запасних частин у сфері зернових перевезень автомобільним транспортом є ключовим чинником зниження аварійності, підвищення рівня безпеки дорожнього руху та відповідності міжнародним стандартам транспортної надійності. Крім того, підкреслено стратегічну роль цифрової трансформації у сфері транспортної логістики, яка забезпечує прозорість процесів, підвищує рівень довіри між учасниками ринку та сприяє інтеграції українських перевізників у міжнародні ланцюги постачання. Впровадження інноваційних рішень у сфері управління запасними частинами розглядається як важливий елемент сталого розвитку транспортної галузі, що дозволяє мінімізувати ризики перебоїв у критичні періоди та забезпечити довгострокову конкурентоспроможність підприємств.

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

Вступ

Інтенсивні перевезення зернових культур у період жнив формують значні виклики для автомобільного транспорту [1]. У цей час автопарк функціонує з підвищеним навантаженням, що зумовлює прискорене зношування вузлів і агрегатів, зростання кількості технічних відмов та підвищення ризику аварійних ситуацій. Забезпечення безперебійної роботи транспортних засобів у таких умовах потребує ефективної системи управління запасними частинами, здатної оперативно реагувати на сезонні піки попиту та мінімізувати простої.

Технічна готовність автомобільного парку виступає одним із ключових чинників безпеки дорожнього руху. Недостатня забезпеченість запасними частинами або затримки у їх постачанні можуть призвести до виходу транспортних засобів з експлуатації, що знижує ефективність перевезень та водночас підвищує ймовірність аварійності. У сучасних умовах логістика запасних частин стає невід'ємною складовою системи транспортної безпеки, а її оптимізація – необхідною передумовою стабільного функціонування транспортної інфраструктури.

Актуальність проблеми забезпечення безпеки руху в умовах сезонних пікових навантажень зумовлена не лише економічними втратами від простоїв, але й соціальними наслідками, пов'язаними із збереженням життя та здоров'я учасників дорожнього руху [2]. Надійність автомобілів безпосередньо впливає на рівень аварійності, тому своєчасне технічне обслуговування та ефективна логістика запасних частин набувають стратегічного значення. Оптимізація процесів постачання та управління запасними частинами забезпечує високий рівень технічної готовності автопарку, що є ключовим чинником безпечного та результативного функціонування транспортної системи в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На основі огляду літератури у Scopus та суміжних джерелах за останні роки можна виокремити кілька ключових напрямків наукових досліджень, що безпосередньо стосуються оптимізації логістики запасних частин у транспортних перевезеннях та її впливу на безпеку дорожнього руху (БДР):

- створення інтелектуальних моделей управління запасними частинами;
- прогнозно-орієнтоване технічне обслуговування транспортних засобів;
- оптимізація мереж постачання запасних частин;
- управління запасами з позицій сталого розвитку;
- безпека транспортних систем та аналіз аварійності;
- логістика запасних частин у сезонних перевезеннях.

Аналіз цих публікацій дозволяє систематизувати переваги та недоліки кожного з напрямків досліджень (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика напрямків досліджень у сфері логістики запасних частин та технічного обслуговування автопарку

Напрямок досліджень	Переваги	Недоліки
Інтелектуальні моделі управління запасними частинами [3, 4, 5]	– інтеграція даних про технічне обслуговування, логістику та інвентаризацію; – мінімізація простоїв та оптимізація ресурсів; – висока точність прогнозування потреб	– складність математичного моделювання; – значні витрати на цифрову інфраструктуру; – обмежена адаптивність до непередбачуваних факторів
Прогнозно-орієнтоване технічне обслуговування транспортних засобів [6, 7]	– зниження кількості відмов; – оптимізація графіків обслуговування; – підвищення безпеки руху	– висока вартість впровадження IoT та аналітики; – залежність від якості даних; – потреба у спеціалізованих кадрах
Оптимізація мереж постачання запасних частин [8, 9]	– своєчасна доступність критично важливих компонентів; – зменшення витрат на логістику; – підвищення стійкості системи до сезонних навантажень	– складність багатоперіодних моделей; – залежність від зовнішніх постачальників; – необхідність інвестицій у цифровізацію
Управління запасами з позицій сталого розвитку [10, 11]	– зменшення екологічного впливу; – ефективне використання ресурсів; – відповідність міжнародним стандартам	– додаткові витрати на екологічні технології; – обмежена реалізація у нестабільних економіках; – потреба узгодження з глобальними політиками
Безпека транспортних систем та аналіз аварійності [12, 13, 14]	– встановлення зв'язку між технічною готовністю та аварійністю; – використання методів аналізу ризиків; – формування стратегій управління безпекою	– складність збору та систематизації даних; – залежність від достовірності статистики; – обмежене врахування людського фактора
Логістика запасних частин у сезонних перевезеннях [15, 16]	– мінімізація простоїв у пікові періоди; – підвищення ефективності аграрних перевезень; – зниження ризиків аварійності	– залежність від точності прогнозів; – необхідність резервних запасів; – складність координації учасників ланцюга постачання

Як видно з таблиці 1, кожен напрям має як сильні сторони, так і обмеження. Найбільш перспективним у сучасних дослідженнях визнається поєднання прогнозного технічного обслуговування з оптимізацією логістики запасних частин, що забезпечує баланс між ефективністю перевезень та зниженням аварійності.

Метою статті є обґрунтування ролі оптимізації логістики запасних частин у зниженні аварійності під час перевезень зернових культур автомобільним транспортом. У роботі розглядаються особливості функціонування системи постачання запасних частин у сфері аграрних перевезень, аналізуються типові проблеми та пропонуються практичні рекомендації щодо удосконалення логістичних процесів. Особливий акцент зроблено на використанні цифрових технологій прогнозування, телематичних систем моніторингу та стандартизації протоколів технічного обслуговування, що дозволяє підвищити рівень безпеки дорожнього руху та ефективність транспортних компаній.

Виклад основного матеріалу дослідження

Перевезення зернових культур автомобільним транспортом мають низку специфічних проблем, що безпосередньо впливають на технічний стан автопарку та рівень БДР. У період жнив інтенсивність перевезень зернових культур значно зростає, що призводить до перевантаження транспортної інфраструктури та підвищеного зношування автомобілів (табл. 2 [17]). Автопарк працює практично безперервно, скорочуючи інтервали між технічними оглядами та підвищуючи ризик відмов. Така експлуатація формує додаткові вимоги до системи постачання запасних частин, яка повинна оперативно реагувати на сезонні коливання попиту.

Таблиця 2

Інтенсивність використання автопарку у різні періоди року

Період року	Середня інтенсивність експлуатації (год/доба)	Частота технічних оглядів	Рівень відмов (%)
Жнива	18–20	Скорочена (1 раз на 5 діб)	12–15
Міжсезоння	8–10	Стандартна (1 раз на 10 діб)	4–6
Низький сезон	4–6	Подовжена (1 раз на 15 діб)	2–3

Інтенсивна експлуатація транспортних засобів у зернових перевезеннях найчастіше супроводжується проблемами з гальмівною системою, ходовою частиною, трансмісією та системами охолодження двигуна (табл. 3 [18]). Високі навантаження на підвіску та кузов зерновозів спричиняють підвищений рівень поломок, особливо на дорогах із недостатньою якістю покриття [19]. Вихід з ладу критичних систем створює пряму загрозу БДР, оскільки може призвести до втрати керованості автомобіля.

Таблиця 3

Найпоширеніші відмови у зерновозах

Система автомобіля	Частота відмов (%)	Потенційний вплив на безпеку
Гальмівна система	25	Втрата керованості, аварійність
Ходова частина	20	Погіршення стійкості, ризик ДТП
Трансмісія	15	Зупинка руху, простої
Система охолодження	18	Перегрів двигуна, аварійні зупинки
Підвіска та кузов	22	Підвищений ризик поломок на дорогах

Недостатня оперативність логістики запасних частин є ключовим чинником простоїв транспортних засобів. Затримки у постачанні деталей спричиняють накопичення несправних автомобілів, що знижує пропускну здатність автопарку та збільшує ризик використання машин у неналежному технічному стані. Це, у свою чергу, може призвести до аварійних ситуацій, особливо в умовах інтенсивного руху та сезонних піків перевезень.

Функціональна залежність рівня простоїв від часу постачання запасних частин на початковому етапі може бути описана лінійною залежністю виду

$$P = \alpha \cdot T + \beta, \quad (1)$$

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.

При збільшенні часу постачання понад 5 днів рівень простоїв зростає експоненційно

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

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 ($T \leq T_k$), 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 високої сезонності, інтенсивного навантаження на автопарк та недостатньої ефективності системи постачання запасних частин визначає потребу у розробці та впровадженні оптимізованих логістичних рішень. Такі рішення мають бути спрямовані на:

- забезпечення технічної готовності автомобілів;
- скорочення часу простоїв;
- зниження рівня аварійності;
- підвищення ефективності та конкурентоспроможності транспортних компаній.

Систематизація проблематики перевезень зернових культур автомобільним транспортом дозволяє обґрунтувати необхідність комплексного підходу до оптимізації логістики запасних частин. Це є ключовим чинником забезпечення безпеки дорожнього руху (табл. 4 [18, 20]) та відповідності сучасним стандартам транспортної надійності [21].

Таблиця 4

Матриця ризиків: вплив 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

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

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

Комплексний підхід в оптимізації логістики запасних частин у перевезеннях зернових культур автомобільним транспортом передбачає поєднання сучасних цифрових технологій, стандартизованих протоколів технічного обслуговування та гнучких моделей управління запасами.

Використання аналітичних платформ та алгоритмів прогнозування дозволяє визначити ймовірність виходу з ладу окремих вузлів автомобіля залежно від інтенсивності експлуатації та сезонних навантажень [5, 7]. Такі системи враховують історичні дані про відмови, пробіг, умови експлуатації та формують прогноз потреби у запасних частинах. Це дає змогу транспортним компаніям завчасно планувати закупівлі та уникати дефіциту критичних деталей у період пікових перевезень.

Основні фактори, що враховуються у прогнозуванні потреби у запасних частинах, їх вплив на ймовірність відмови та методи врахування подані у таблиці 5.

Фактори, що враховуються у прогнозуванні потреби у запасних частинах

Параметр	Вплив на ймовірність відмови	Метод врахування
Пробіг автомобіля	Прямий	Лінійна регресія
Інтенсивність експлуатації	Високий	Коефіцієнт навантаження
Сезонні піки	Дуже високий	Сезонні коефіцієнти
Історичні дані про відмови	Середній	Машинне навчання

Враховуючи зміст таблиці 5, узагальнена формула прогнозу ймовірності відмови вузла має вигляд

$$P_{vid} = 1 - e^{-(\alpha \cdot L + \beta \cdot I + \gamma \cdot S + \delta \cdot H)}, \quad (4)$$

де L – пробіг, I – інтенсивність експлуатації, S – сезонний коефіцієнт, H – історичні дані про відмови, $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ – вагові коефіцієнти.

Телематичні системи забезпечують моніторинг технічного стану автомобілів у режимі реального часу. Вони дозволяють відстежувати параметри роботи двигуна, гальмівної системи, трансмісії та інших ключових вузлів. На основі отриманих даних можна своєчасно виявляти ознаки зношування та прогнозувати необхідність заміни деталей. Це знижує ризик аварійних відмов і сприяє підвищенню рівня безпеки дорожнього руху.

Залежність аварійності від рівня телематичного контролю має вигляд

$$A = A_0 \cdot e^{-k \cdot C}, \quad (5)$$

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

Аналіз залежності (5) показує, що при охопленні понад 70 % автопарку телематичними системами аварійність знижується більше ніж удвічі.

Сезонність зернових перевезень вимагає адаптивної системи постачання запасних частин. Гнучкі ланцюги постачання передбачають використання регіональних складів, мобільних сервісних центрів та партнерських угод із постачальниками, що дозволяє скоротити час доставки деталей та мінімізувати простої. Важливим елементом є застосування моделі «just-in-time» [22], яка забезпечує постачання необхідних деталей у потрібний момент (табл. 6) без надмірного складування.

Таблиця 6

Порівняння моделей постачання запасних частин

Модель постачання	Час доставки	Рівень запасів	Ризик простоїв
Традиційна	7–10 днів	Високий	Середній
Регіональні склади	3–5 днів	Середній	Низький
Just-in-time	1–2 дні	Мінімальний	Дуже низький

Єдиний підхід до технічного обслуговування автомобільного транспорту дозволяє підвищити ефективність використання запасних частин та зменшити кількість аварійних ремонтів. Стандартизація включає розробку регламентів заміни деталей, класифікацію запасних частин за критичністю та створення системи пріоритизації їх постачання (табл. 7). Це сприяє раціональному використанню ресурсів та забезпечує стабільну технічну готовність автопарку.

Таблиця 7

Приклад класифікації запасних частин за критичністю

Категорія	Приклади деталей	Пріоритет постачання
Критичні	Гальмівні колодки, шини	Максимальний
Важливі	Система охолодження, підвіска	Високий
Другорядні	Елементи кузова, електрика	Середній

Таким чином, методологія оптимізації логістики запасних частин у перевезеннях зернових культур автомобільним транспортом базується на поєднанні цифрових технологій прогнозування, телематичних систем моніторингу, гнучких моделей постачання та стандартизованих протоколів

технічного обслуговування. Її впровадження дозволяє знизити аварійність, скоротити простой та підвищити конкурентоспроможність транспортних.

Цільова функція оптимізаційної моделі логістики запасних частин, спрямована на мінімізацію сумарних витрат, має вигляд

$$F = C_{zap} + C_{pr} + C_{av} \rightarrow \min, \quad (6)$$

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

При цьому слід враховувати обмеження:

1. Рівень технічної готовності автопарку повинен задовольняти умову

$$G(T, Z) \geq G_{\min}, \quad (7)$$

де G_{\min} – мінімально допустимий рівень готовності (наприклад, 85 %), Z – рівень запасів.

2. Час постачання запасних частин повинен задовольняти умову

$$T \leq T_k. \quad (8)$$

Рівень простоїв можна описати як функцію часу постачання та рівня запасів

$$P(T, Z) = P_0 \cdot e^{k \cdot (T - T_k)} \cdot \frac{1}{1 + \lambda \cdot Z}. \quad (9)$$

Аналіз залежностей (6)-(9) показує, що при збільшенні запасів (Z) рівень простоїв зменшується завдяки буферному ефекту, при затримках понад 5 діб простой зростають експоненційно, оптимальний баланс досягається при $T \leq 3$ дні та $Z = 20-30\%$ від прогнозованої потреби.

Практичні рекомендації щодо вирішення поставленого у дослідженні завдання полягають у реалізації таких кроків:

- створення стратегічних резервів критичних деталей у регіонах з високою концентрацією зернових перевезень;
- використання класифікаційних таблиць для пріоритизації запасних частин;
- впровадження системи «just-in-time» для оптимізації складування;
- підготовка персоналу та підвищення кваліфікації механіків;
- співпраця з постачальниками та сервісними центрами.

Таким чином, практичні кроки з оптимізації логістики запасних частин охоплюють як організаційні, так і технологічні аспекти.

Оптимізація логістики запасних частин у перевезеннях зернових культур автомобільним транспортом має комплексний вплив як на економічні показники діяльності транспортних компаній, так і на соціальну сферу, пов'язану з БДР.

Економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на аварійні ремонти, скорочення простоїв автопарку, підвищення конкурентоспроможності та раціоналізації складських витрат.

Результати оцінювання впливу оптимізації логістики запасних частин на економічні показники подані у таблиці 8.

Таблиця 8

Вплив оптимізації логістики запасних частин на економічні показники

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна (%)
Витрати на аварійні ремонти	100 %	70 %	-30 %
Середній час простою (год/міс)	120	80	-33 %
Коефіцієнт використання автопарку	0,75	0,90	+20 %
Складські витрати	100 %	85 %	-15 %

Соціальний ефект досягається за рахунок зниження аварійності на 15-20 %, підвищення довіри до транспортних компаній, соціальної стабільності у регіонах та відповідності міжнародним стандартам.

Таким чином, оптимізація логістики запасних частин у зернових перевезеннях автомобільним транспортом має подвійний ефект: вона одночасно забезпечує економічну вигоду для транспортних

компаній та соціальну значущість у вигляді зниження аварійності й підвищення БДР.

Висновки

Оптимізація логістики запасних частин у перевезеннях зернових культур автомобільним транспортом є ключовим чинником забезпечення безпеки дорожнього руху та підвищення ефективності транспортних компаній. Проведене дослідження показало, що сезонні піки навантаження на автопарк створюють додаткові ризики технічних відмов, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Вчасне постачання запасних частин, використання цифрових систем прогнозування та телематичних технологій дозволяють суттєво знизити ймовірність аварійності та скоротити простой.

Запропонована методологія оптимізації включає формування стратегічних резервів критичних деталей, класифікацію запасних частин за рівнем важливості, впровадження моделі «just-in-time» та стандартизацію протоколів технічного обслуговування. Практичні рекомендації спрямовані на створення гнучких ланцюгів постачання, інтеграцію телематичних систем моніторингу та підготовку персоналу до роботи з сучасними цифровими інструментами.

Економічний ефект від впровадження таких рішень полягає у зменшенні витрат на аварійні ремонти, скороченні простоїв на 20-30%, та підвищенні конкурентоспроможності транспортних компаній. Соціальний ефект проявляється у зниженні аварійності на 15-20 %, підвищенні рівня безпеки дорожнього руху та відповідності міжнародним стандартам транспортної надійності (ISO 39001:2012).

Таким чином, оптимізація логістики запасних частин у зернових перевезеннях автомобільним транспортом є не лише інструментом підвищення ефективності роботи автопарку, але й важливим фактором соціальної стабільності та розвитку аграрних регіонів. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці цифрових платформ для інтегрованого управління запасами, міжнародному обміні досвідом та стандартизації підходів до технічного обслуговування транспортних засобів.

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., Пальчевський О. В. Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022, 1(18). С. 97-102. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.764>.
- [3] 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.
- [4] Ivanov D., Dolgui A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*. 2020, 32(9), P. 775-788. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>.
- [5] Москалюк М.Л., Кашканов А.А. Управління запасами запасних частин у логістиці автомобільних перевезень в умовах багатфакторної невизначеності. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2025, 2(25), С. 230-238. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i25.1931>.
- [6] 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>.
- [7] Volkov, V., Volkova, T., Kuzhel, V., Kurytsya, 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.
- [8] Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., Feklin, E. 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*, 2023, vol 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_110.
- [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] Sy, M. Logistics Performance, Supply Chain Resilience, Integrated Information System, and Performance Metrics as Correlates of Supply Chain Performance of the Downstream Integration: A Literature Review. *Open Journal of Business and Management*. 2025, 13, 2345-2376. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2025.134121>.
- [12] 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>.
- [13] Kashkanova A., Rotshtein A., Kashkanov A., Katelnikov D. Intelligent model for reliability control and safety in urban transport systems. *Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. 2025, 15(4), P. 100-107. <https://doi.org/10.35784/iapgos.8276>.

- [14] 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>.
- [15] 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>.
- [16] 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>.
- [17] Salin D. *Ukraine Grain Transportation*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. June 2024, 56 p. <http://dx.doi.org/10.9752/TS260.06-2024>.
- [18] World Bank. *Ukraine's Transport and Logistics System: Current and Prospective Opportunities and Challenges*. Washington, DC: World Bank Group. 2025, 72 p. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099061725033525342/pdf/P502442-346a4fd3-882f-46ca-95c9-ce90c0a71619.pdf> (дата звернення: 04.03.2026).
- [19] 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).
- [20] James Miller. *Spare Parts Shortages Shake Up Freight Transport Reliability*. Blog article, October 9, 2025. URL: <https://blog.gettransport.com/news/spare-parts-shortage-freight-transport/> (дата звернення: 04.03.2026).
- [21] ISO 39001:2012. *Road traffic safety (RTS) management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva: International Organization for Standardization, 2012. 34 p. URL: <https://www.iso.org/standard/44958.html> (дата звернення: 04.03.2026).
- [22] Abele, E., Boltze M., Pfohl H.-C. *Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Traffic: Fundamentals of Interdisciplinary Decision Support*. Springer International Publishing, 2017. 207 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41097-5>.

Кашканов Андрій Альбертович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Буряк Валерій Володимирович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, <https://orcid.org/0009-0009-6030-4173>, e-mail: btr.vl@i.ua

Москалюк Микола Леонідович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, <https://orcid.org/0009-0002-4660-8858>, e-mail: moskalyuk255@gmail.com

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

A. Kashkanov
V. Buriak
M. Moskaliuk

Optimisation of Spare Parts Logistics in Grain Transportation as a Factor in Reducing Accident Rates

Vinnitsia National Technical University

The article investigates the significance of optimising spare parts logistics in ensuring the reliability and safety of road vehicles used for grain transportation. Grain transport has distinctive characteristics linked to seasonal peaks, high fleet utilisation, and increased demands on technical readiness. During harvest periods, the intensity of operations rises sharply, leading to accelerated wear of critical components, frequent technical failures, and heightened accident risks. In such conditions, timely supply and rational management of spare parts become crucial factors directly influencing accident rates and the efficiency of carriers.

The study analyses typical failures and malfunctions occurring in grain transport operations, such as brake system deterioration, suspension overload, transmission faults, and cooling inefficiencies, and evaluates their impact on road safety. It substantiates the need for modern digital forecasting systems to predict spare parts demand, the integration of telematics technologies for monitoring vehicle condition, and the creation of flexible supply chains capable of responding to seasonal fluctuations in demand. Particular attention is given to the establishment of strategic reserves of critical components in regions with high concentrations of grain transport, the standardisation of maintenance protocols, and the training of personnel to operate effectively under conditions of intensive transport load.

Practical recommendations are proposed for optimising spare parts logistics, including classification of parts by criticality, adoption of "just-in-time" supply models, and the use of predictive maintenance practices. These measures enable reductions in downtime, fewer emergency repairs, and improved competitiveness of transport companies. The article demonstrates that a systematic approach to spare parts management in grain transportation is a key factor in reducing accident rates, enhancing road safety, and ensuring compliance with international standards of transport reliability.

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

Kashkanov Andrii – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

Buriak Valerii – Ph. D. Student of the Department of Automobiles and Transport Management, <https://orcid.org/0009-0009-6030-4173>, e-mail: btr.vl@i.ua

Moskaliuk Mykola – Ph. D. Student of the Department of Automobiles and Transport Management, <https://orcid.org/0009-0002-4660-8858>, e-mail: moskalyuk255@gmail.com