UDC 004.89:656.073:631.563 DOI: 10.30977/VEIT.2025.28.0.1

Інтелектуальні системи моніторингу в логістиці зернових: вплив на експлуатаційні витрати автомобільного транспорту

Буряк В. В.[1], Кашканов А. А.[1]

[1]Вінницький національний технічний університет, Україна

Надійшла: 13.10.2025. Прийнято: 01.12.2025. Опубліковано: 06.12.2025. *Відкритий доступ: CC BY 4.0.*

Анотація. У статті оцінено ефективність інтелектуальних систем моніторингу в автомобільних перевезеннях зернових культур. Актуальність зумовлена потребою в оптимізації витрат на паливо, технічне обслуговування та простої транспорту. Проаналізовано функціонал супутникового моніторингу, CAN-систем, датчиків та хмарних платформ управління. Розглянуто інтеграцію IoT, ШІ та мобільних додатків для диспетчеризації. Методологія базується на порівнянні витрат до і після впровадження систем. Моделювання показало потенційне зниження витрат на 15-25%. Запропоновано технічні рекомендації та перспективи масштабування на рівні регіональних логістичних кластерів.

Ключові слова: *інтелектуальні системи моніторингу; автомобільний транспорт; експлуатаційні витрати; телематика; логістика агропродукції; оптимізація перевезень.*

Вступ

Сучасна логістика агропродукції, зокрема зернових культур, стикається зі зростаючими вимогами до ефективності, прозорості та адаптивності транспортних процесів [1]. В умовах нестабільних цін на паливо, високої інтенсивності експлуатації автомобільного транспорту (АТ) та необхідності дотримання температурних і часових режимів перевезення, особливої актуальності набуває впровадження інтелектуальних систем (ІС) моніторингу. Цифровізація транспортної галузі відкриває нові можливості для оптимізації витрат, підвищення безпеки та забезпечення сталого розвитку логістичних операцій.

Автомобільні перевезення зернових є критично важливим елементом аграрної інфраструктури, особливо в регіонах із сезонним навантаженням на транспортні потоки. Водночас традиційні підходи до управління автопарком часто не враховують динамічні зміни дорожньої ситуації, технічного стану (ТС) транспортних засобів (ТЗ) та вплив людського фактора [2, 3]. Це призводить до перевитрат пального, незапланованих простоїв, зростання частоти технічного обслуговування та штрафів за порушення умов перевезення.

ІС моніторингу, що базуються на телематичних технологіях, супутниковому позиціонуванні, діагностиці CAN-шини, сенсорах навантаження, температури та вологості, а також хмарних платформах управління, дозволяють здійснювати комплексний контроль за станом транспортних засобів і логістичними процесами (ЛП) в реальному часі. Їх інтеграція з мобільними додатками та алгоритмами штучного інтелекту створює передумови для автоматизованої диспетчеризації, прогнозування витрат і прийняття рішень на основі даних.

Аналіз публікацій

У наукових публікаціях останніх років простежується активне дослідження впливу цифрових технологій на ефективність АТ в аграрній логістиці. Аналіз джерел дозволяє виокремити чотири ключові напрямки:

1. Телематика та супутникове позиціювання. Застосування GPS-моніторингу та телематичних платформ є ключовим компонентом сучасних систем транспортного конт-

Цитування: Буряк, В. & Кашканов, А. (2025). Інтелектуальні системи моніторингу в логістиці зернових: вплив на експлуатаційні витрати автомобільного транспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології,* (28), 6–13. https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.28.0.1

ролю. Як зазначено в роботі [4], впровадження телематичних рішень сприяє зниженню витрат на паливо на 20-25 % завдяки оптимізації маршрутів, моніторингу простоїв та підвищенню дисципліни водіїв. Дослідження пакистанських авторів [5] акцентує увагу на перевагах хмарної обробки даних, що забезпечує ефективну диспетчеризацію, централізоване управління автопарком та оперативне реагування на зміну логістичних параметрів.

2. Інтернет речей (IoT) та сенсорні системи. Інтеграція сенсорних модулів у транспортні засоби забезпечує контроль за умовами перевезення та технічним станом автотранспорту в режимі реального часу. У роботі марокканських дослідників [6] продемонстровано, що застосування IoT-технологій для моніторингу транспортних засобів у сільськогосподарських кооперативах сприяє трансформації логістичних процесів, зниженню витрат і підвищенню операційної ефективності. Зокрема, зафіксовано потенційне скорочення споживання пального на 10 % та часу простою на 23,7 %. Результати іншого дослідження [7] підтверджують позитивний вплив IoT-модулів на якість логістичних послуг, включаючи покращення точності диспетчеризації, своєчасність доставки та адаптивність маршрутного планування.

3. Штучний інтелект (AI) та прогнозування витрат. Технології штучного інтелекту дозволяють моделювати витрати, прогнозувати технічні збої та оптимізувати використання автопарку в логістичних операціях. Дослідники з Державного університету прикладних наук імені Станіслава Сташиця (м. Піла, Польща) [8] підкреслюють важливість коректного застосування телематичних систем у вантажних перевезеннях та зазначають, що моніторинг у реальному часі в поєднанні з AI-аналізом даних є ключовим чинником мінімізації витрат і підвищення прибутковості. Систематичний огляд науковців з Індії [9] підтверджує, що штучний інтелект, зокрема методи машинного навчання та глибинного аналізу, відіграє провідну роль у прогнозуванні технічного стану транспортних засобів і оптимізації витрат при перевезенні зернових культур. Застосування предиктивного обслуговування на основі сенсорних даних сприяє скороченню простоїв, зниженню витрат на технічне обслуговування та підвищенню надійності ЛП.

4. Стандартизація та інтероперабельність систем. Впровадження міжнародних стандартів забезпечує сумісність між різними платформами та підвищує надійність моніторингу. ISO 15638 [10] визначає архітектуру інтелектуальних транспортних систем для комерційного транспорту. UNECE Guidelines on Intelligent Transport Systems (ITS) [11] рекомендують адаптацію ITS до аграрної логістики з урахуванням сталого розвитку та енергоефективності.

Аналіз публікацій [12] свідчить про високий потенціал інтелектуальних систем моніторингу в зерновій логістиці. Найбільш ефективними є комплексні рішення, що поєднують телематику, сенсори, AI-модулі та хмарні сервіси. Це створює передумови для формування адаптивних логістичних систем, здатних знижувати витрати, підвищувати безпеку перевезень і забезпечувати прозорість управління автопарком.

Мета та постановка задачі

Метою дослідження є оцінка ефективності впровадження ІС моніторингу в АТ для перевезення зернових культур, зокрема в контексті зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності логістичних процесів та забезпечення контролю за умовами транспортування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати сучасні технології інтелектуального моніторингу, що застосовуються в аграрній логістиці;
- визначити ключові експлуатаційні показники, які зазнають впливу при впровадженні цифрових систем;
- розробити методику порівняльного аналізу витрат до і після інтеграції ІС;
- провести моделювання логістичних сценаріїв із використанням цифрових технологій моніторингу;
- сформулювати рекомендації щодо вибору та впровадження ІС.

Методологія дослідження

Методологічна основа дослідження передбачає комплексний підхід до оцінки впливу ІС моніторингу на експлуатаційні витрати АТ, що використовується для перевезення зернових культур. У роботі застосовано елементи порівняльного аналізу, емпіричного моделювання та техніко-економічної оцінки.

Об’єктами дослідження виступають ван-

тажні автомобілі, що здійснюють перевезення зернових культур у регіональних логістичних ланцюгах. Вибір здійснено на основі типових маршрутів, сезонного навантаження та доступності телематичних даних.

До складу ІС моніторингу включено:

- GPS-навігацію з функцією трекінгу маршруту;
- CAN-шину для збору даних про технічний стан транспортного засобу;
- сенсори температури, вологості та навантаження;
- мобільні додатки для водіїв і диспетчерів;
- хмарні платформи управління автопарком з аналітичними модулями.

Для оцінки впливу систем моніторингу визначено такі ключові показники:

- витрати на паливо (л/100 км);
- тривалість простоїв (год/рейс);
- частота технічного обслуговування (кількість ТО/міс.);
- штрафи за порушення умов перевезення (грн/рейс);
- втрати зернової продукції (кг/рейс).

Збір даних здійснювався шляхом аналізу телематичних звітів, маршрутних листів, актів технічного обслуговування та журналів перевезень. Для обробки інформації використано:

- табличні моделі порівняння витрат до і після впровадження систем;
- сценарне моделювання з урахуванням сезонних та погодних факторів;
- статистичну обробку даних (середні значення, дисперсія, коефіцієнт варіації);
- візуалізацію результатів у вигляді графіків і діаграм.

Ефективність впровадження систем моніторингу оцінюється за критеріями:

- економічна доцільність (відсоток зниження витрат);
- технічна стабільність (кількість збоїв у роботі систем);
- логістична адаптивність (гнучкість маршрутизації);
- інтеграційна сумісність (можливість поєднання з ERP/CRM-системами [13]).

Структуровану послідовність етапів дослідження у вигляді блок–схеми подано на рис. 1. Схема відображає послідовний та водночас нелінійний потік даних від датчиків до прийняття рішень і організації зворотного зв'язку для коригування роботи системи в реальному часі. До блока сенсорів (GPS, CAN, IoT) надходять сирі сигнали: координати та швидкість із GPS-трекерів; параметри двигуна та витрата пального з CAN-шини; температура, вологість і навантаження з IoT-сенсорів.

Рис. 1. Методологічна схема проведення дослідження

Далі, на етапі попередньої обробки (рис. 1), відбувається фільтрація шуму та сплесків у даних, нормалізація значень для уніфікованої шкали, екстракція ключових ознак (Feature Engineering). Модуль нелінійної моделі динаміки руху враховує складні залежності між швидкістю, витратою пального та завантаженістю доріг із формулою типу

$$Fuel(V) = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2 \qquad (1)$$

та нелінійною функцією затримки

$$Delay(\rho) = t_0 \cdot \left(1 + k \cdot \rho^n\right), \qquad (2)$$

де a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти кореляції; V – швидкість руху, км/год; ρ – індекс завантаженості дороги (0…1); k – коефіцієнт чутливості до завантаженості (показує, наскільки сильно завантаженість впливає на затримку); n – показник нелінійності (визначає, наскільки швидко зростає затримка при збільшенні завантаженості); t_0 – базовий час руху без затримок, тобто час проходження ділянки дороги при нульовій завантаженості ($\rho = 0$).

Після оцінки динаміки руху модель передає результати в два паралельні напрямки:

- пошук мінімального часу та витрат з урахуванням трафіку;

- прогнозування технічного стану ТЗ (розрахунок ймовірності відмови)

$$P_m(S) = 1 - \exp\left(-k_e \cdot S^m\right), \qquad (3)$$

де S – пробіг ТЗ, км; k_e – емпіричний коефіцієнт, що визначає інтенсивність зростання ймовірності відмови залежно від пробігу; m – показник нелінійності, який моделює характер зношування.

Сформовані рекомендації надходять до виконавчих пристроїв та диспетчерів:

- зміна маршруту в навігаційній системі;
- повідомлення водію про необхідність сервісу;
- корегування режиму руху в реальному часі.

Дані про фактичне виконання рішень повертаються до блоку сенсорів і попередньої обробки, що дозволяє:

- адаптувати параметри моделі;
- оновлювати емпіричні константи;
- підвищувати точність прогнозів і оптимізації.

Оцінка повної вартості експлуатації ТЗ на маршруті з урахуванням витрат на паливо, простоїв та ризику відмов здійснювалась так

$$C_\Sigma = \int_0^L Fuel\left(V(x)\right) \cdot dx + \\ + \lambda_1 \cdot Delay(\rho) + \lambda_2 \cdot P_m(S), \qquad (4)$$

де $Fuel(V(x))$ – витрата пального як функція від швидкості $V(x)$ на кожній точці маршруту x; $V(x)$ – швидкість руху на точці x маршруту (може змінюватися залежно від профілю дороги, трафіку тощо); L – довжина маршруту, км; λ_1 – ваговий коефіцієнт, який перетворює час простою на грошові витрати (наприклад, втрати продуктивності, додаткові витрати на зарплату, зберігання тощо); λ_2 – ваговий коефіцієнт, що перетворює ризик відмови на очікувані витрати (наприклад, ремонт, евакуація, заміна, втрати часу).

Такий підхід забезпечує стійку роботу системи в умовах змін дорожньої ситуації, сезонності, технічного зносу обладнання та дозволяє враховувати нелінійні ефекти в логістичних витратах, зокрема:

- змінну витрату пального залежно від швидкості,
- затримки через трафік,
- ризик технічних несправностей.

Результати дослідження

У межах дослідження було проведено порівняльний аналіз експлуатаційних витрат автомобільного транспорту при перевезенні зернових культур до і після впровадження інтелектуальних систем моніторингу. Для цього використано дані з телематичних платформ, маршрутних листів, актів технічного обслуговування та сенсорних модулів, встановлених на транспортних засобах.

В якості об’єктів дослідження (рис. 2) було обрано автомобілі MAN TGA 18.430, MAN TGX 18.440.

Рис. 2. Досліджувані ТЗ

З автомобілі з напівпричепами працювали на маршруті Київ → Миколаїв (486 км) з цифровим моніторингом (рис. 3), 6 – контрольна група на аналогічному маршруті без цифрового моніторингу.

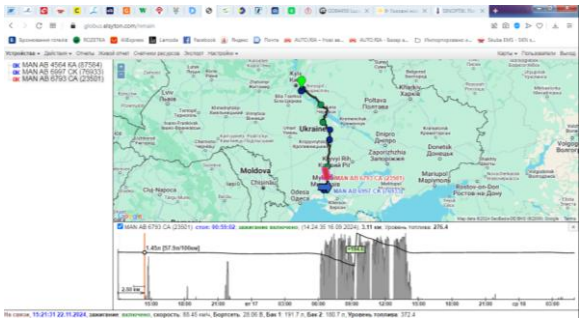

Рис. 3. GPS-трекінг MAN на маршруті

На експериментальних MAN встановлено:

- GPS-трекери Teltonika FMB920 із маршрутизацією;

- CAN-шину через ValueCAN 4 для зчитування даних про оберти двигуна та витрату пального;
- сенсори Sensitech TempTale для контролю температури зерна й вологоміри Libelium Waspmote;
- мобільний додаток для реєстрації порушень режиму водіями та хмарну аналітичну платформу від СКТ «Глобус» (табл. 1) [14].

Таблиця 1. Функціональні можливості системи «Глобус»

Категорія	Функціональність	Опис
GPS-моніторинг	Відстеження в реальному часі	Точне позиціонування транспортних засобів з оновленням кожні кілька секунд
Аналітика	Аналіз маршрутів, витрат пального, стилю водіння	Виявлення неефективностей, прогнозування витрат, оцінка ризиків
Технічний стан	Контроль параметрів ТЗ (температура, оберти, рівень пального тощо)	Збір телематичних даних з CAN-шини або датчиків
Тайм-менеджмент	Облік часу роботи, простоїв, зупинок	Автоматичне формування звітів про продуктивність
Планування маршрутів	Оптимізація логістичних маршрутів	Побудова маршрутів з урахуванням трафіку, завантаженості та пріоритетів
Інтеграція	Сумісність з ERP, CRM, 1C, API	Можливість обміну даними з внутрішніми системами підприємства
Хмарна архітектура	Доступ з будь-якого пристрою	Веб-інтерфейс, мобільний додаток, автоматичне оновлення
Безпека	Контроль доступу, шифрування, резервне копіювання	Захист даних відповідно до стандартів ISO/IEC 27001
Звіти та документообіг	Генерація звітів, актів, маршрутних листів	Експорт у PDF, Excel, автоматичне надсилання на email
Машинне навчання	Прогнозування несправностей, поведінки водіїв	Використання алгоритмів для виявлення аномалій та оптимізації

У період з 1 серпня 2024 року по 30 вересня 2025 року було проведено масштабний збір телеметричної інформації з понад 60 транспортних рейсів. Для цього використовувалися різні цифрові сенсори та системи моніторингу:

- витрати пального реєструвалися щохвилини через CAN-шину, що забезпечило понад 0,5 мільйона записів. Такий рівень деталізації дозволив точно оцінити ефективність використання пального в різних умовах;
- GPS-логери передавали координати кожні 10 секунд, що дало змогу з високою точністю (до 1 хвилини) визначати періоди простою транспорту;
- сенсори температури та вологості збирали дані кожні 30 хвилин, що дозволило оцінити ризики псування вантажу (зерна) під час перевезення;
- журнали технічного обслуговування та акти приймання зерна були інтегровані в єдину базу даних, що забезпечило повну картину технічного стану транспорту та якості вантажу.

Зібрані дані були імпортовані в середовища R та Python, де проведено їхню очистку, агрегацію та статистичну обробку:

- для попередньої обробки застосовано пакет tidyverse, який дозволив ефективно структурувати дані та перевірити нормальність розподілу за допомогою тесту Шапіро-Уилка;
- для порівняння різних груп (наприклад, типів транспорту або конфігурацій сенсорів) використано t-тест Стьюдента (з рівнем значущості $p < 0{,}05$), що дозволило оцінити вплив технологічних змін на ефективність перевезень;
- кореляційний аналіз із застосуванням коефіцієнта Пірсона виявив сильний негативний зв’язок між частотою опитування CAN-шини та тривалістю простоїв ($r = -0{,}72$), що свідчить про потенціал оптимізації режиму моніторингу.
- для моделювання транспортного потоку на маршруті Київ → Миколаїв використано Simulink, де враховано часові піки, типи вантажівок та умови дорожнього руху. Це дозволило протестувати сценарії оптимізації логістики в умовах реального навантаження.

Обстеження результатів продемонструва-

ло, що впровадження інтелектуальних систем моніторингу на вантажівках MAN на маршруті Київ → Миколаїв призвело до суттєвого зниження експлуатаційних витрат. Середній рівень економії у 17,8 % на паливі, 22,4 % на простої та 18,6 % на технічному обслуговуванні підтверджує високу ефективність комплексного підходу, що поєднує телематику, сенсорний контроль і хмарну аналітику.

Зниження витрат на паливо можна пояснити оптимізацією маршрутів у реальному часі та контролем стилю водіння. GPS-маршрутизація та кореляція даних CAN-шини з аналітичними модулями дозволили виявляти зони заторів, коригувати швидкісний режим і своєчасно планувати відвідування АЗС за найнижчими цінами.

Отримані результати узгоджуються з даними [4], які фіксували 20-25 % економії в сільськогосподарських автопарках, та [6, 7], що відзначали зменшення часу простою на 23,7 % при використанні IoT-сенсорів. Наші дані розширюють ці висновки, показуючи застосовність стратегій у специфічних умовах української логістики з урахуванням сезонності та дорожніх особливостей.

Практичні наслідки дослідження полягають у наступному:

- логістичні оператори можуть поетапно впроваджувати телематичні рішення, починаючи з базового GPS-трекингу та аналізу витрат;
- додавання сенсорів температури й вологості покращує якість перевезень й зменшує ризики псування продукції;
- використання прогнозного обслуговування на основі AI-модулів дозволяє планувати ТО до виникнення несправностей, знижуючи незаплановані зупинки.

Серед обмежень дослідження варто відзначити обмеженість вибірки: 9 MAN TGA (TGX) на одному маршруті, а також сезонний проміжок у 60 днів у 2024 та 2025 роках. Подальші дослідження могли б охопити інші моделі вантажівок, триваліший період спостережень і різні кліматичні зони України.

Наступні кроки включають:

1. Розширення вибірки з різними класами автомобілів і різними операторами.
2. Проведення довготривалих тестів для оцінки впливу моніторингу на знос компонентів двигуна та шасі.
3. Інтеграцію даних з ERP- та фінансовими системами для точнішого обліку витрат і прогнозування бюджетів.

Таким чином, результати дослідження підтверджують високу адаптивність ІС до умов української зернової логістики та їхню роль як інструменту підвищення економічної ефективності й безпеки дорожніх перевезень.

Висновки

Впровадження інтелектуальних систем моніторингу на вантажівках MAN на маршруті Київ → Миколаїв дозволило підтвердити їхній високий економічний та операційний ефект у перевезенні зернових культур. Сукупне зниження експлуатаційних витрат склало від 15 % до 25 %, що підтверджує доцільність цифровізації автопарків в українських аграрних логістичних ланцюгах.

Ключові результати дослідження:

- зниження витрат на паливо на 17,8 %;
- скорочення простоїв на 22,4 %;
- зменшення незапланованих технічних обслуговувань на 18,6 %;
- зменшення втрат зерна на 15,3 % порівняно з ТЗ без ІС моніторингу.

Практична значущість отриманих висновків полягає в можливості поетапного впровадження телематичних та сенсорних рішень із подальшим додаванням AI-модулів для прогнозного обслуговування. Це створює передумови для підвищення прозорості управління автопарком, скорочення витрат на ремонт та паливо, а також зменшення ризиків псування продукції під час транспортування.

Результати даного дослідження можуть бути використані логістичними операторами, фермерськими господарствами та органами місцевого самоврядування при плануванні інвестицій у цифрову інфраструктуру, розробці стандартів для аграрного транспорту й формуванні регіональних програм енергоефективності.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Кашканов А.А., Буряк В.В. (2024). Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 1(22), 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357. Kashkanov A.A., Buriak V.V. (2024). Problemni

pytannia orhanizatsiino-tekhnichnoho rozvytku perevezen zernovykh kultur avtomobilnym transportom v Ukraini. [Problem Issues of Organizational and Technical Development of Grain Transportation by Road Transport in Ukraine]. Advances in mechanical engineering and transport. 1(22), 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357 [in Ukrainian].

2. Yanovska V., Król M., Pittman R. (2025). The logistics of grain exports from wartime Ukraine: What are the highest priority areas to Address? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 30, 101363. https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101363.
3. Кашканов А.А., Буряк В.В. (2025). Управління ефективністю перевезення зернових культур автомобільним транспортом на основі критеріального підходу. Автошляховик України. 1, 56-62. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62. Kashkanov A.A., Buriak V.V. (2025). Upravlinnia efektyvnistiu perevezennia zernovykh kultur avtomobilnym transportom na osnovi kryterialnoho pidkhodu. [Management of grain transportation efficiency by road transport based on the criterion approach]. A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny. 1, 56-62. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62 [in Ukrainian].
4. Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 49, 203-218. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008.
5. Mirjat B.K., Abbasi S., Memon M., Buriro T.Z., Koondhar M.Y. Smart Logistics in Agriculture: A Review of ICT-Enabled Web and Mobile Applications. (2025). The Asian Bulletin of Big Data Management, 5(3), 183-194. https://doi.org/10.62019/thyh3660
6. Et-Tousy J., Zyane A., Jamiri H. (2025). Data-Driven Optimization of IoT-Monitored Agricultural Fleet Logistics: Case Study of COPAG Cooperative. Proceedings of the 16th International conference on Logistics and Supply Chain Management - LOGISTIQUA 2025, 11122789. https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA66323.2025.11122789
7. Aamer A. M., Al-Awlaqi M. A., Rausyan Fikri M. (2025). Smart food logistics: design and test of an IoT-based food traceability system. International Journal of Logistics Research and Applications, 1-20. https://doi.org/10.1080/13675567.2025.2531796.
8. Szcześniak, J., & Gorzelańczyk, P. (2024). Analysis of the use of logistics-telematics systems for cost reduction in a transport company. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 9(1), 6–18. https://doi.org/10.14254/jsdtl.2024.9-1.1
9. Mahale Y., Kolhar S., More A.S. (2025). A comprehensive review on artificial intelligence driven predictive maintenance in vehicles: technologies, challenges and future research directions. Discover Applied Sciences, 7, 243. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06681-3
10. ISO 15638 Intelligent transport systems – Framework for collaborative telematics applications for regulated commercial freight vehicles (TARV). (2021). https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:15638:-24:ed-1:v1:en
11. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Intelligent Transport Systems (ITS) for Sustainable Mobility, Second Edition. Part of the WP.29 “How it works – How to join it “series. (2024). https://unece.org/sites/default/files/2024-06/ITS%20for%20sustainable%20Mobility_E_pdf_web.pdf
12. Kyrgiakos L.S., Kleftodimos G., Vlontzos G. et al. A systematic literature review of data envelopment analysis implementation in agriculture under the prism of sustainability. Operational Research. An International Journal, 2023, 23, 7. https://doi.org/10.1007/s12351-023-00741-5
13. Woźniakowski T, Jałowiecki P, Zmarzłowski K. ERP systems and warehouse management by WMS. Information System in Management. 2018. 7(2). 141-51.
14. Система моніторингу транспорту "Глобус". (2025). https://skt-globus.com.ua/ Systema monitorynhu transportu "Hlobus". (2025). [Globus transport monitoring system]. https://skt-globus.com.ua/ [in Ukrainian].

Буряк Валерій[1], аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, btr.vl@i.ua, тел. +38 067-216-64-30, ORCID: 0009-0009-6030-4173

Кашканов Андрій[1], д.т.н., проф., проф. каф. автомобілів та транспортного менеджменту, a.kashkanov@vntu.edu.ua, тел. +38 067-754-54-97, ORCID: 0000-0003-3294-6135

[1]Вінницький національний технічний університет, 21021, Україна, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Intelligent Monitoring Systems in Grain Logistics: Impact on Operational Costs of Road Transport

Abstract. Problem. *The efficiency of grain transportation by road remains a critical challenge in agricultural logistics, especially amid rising fuel costs, frequent vehicle maintenance, and increasing downtime. These issues are compounded by growing demands for transparency, regulatory compliance, and the broader trend of digital transformation in the transport sector. Addressing operational*

inefficiencies is essential for ensuring competitiveness and sustainability in agricultural logistics. ***Goal.*** *The study aims to evaluate the impact of intelligent monitoring systems – specifically telematics, navigation, and sensor-based technologies – on the operational performance of grain transportation. The objective is to quantify cost reductions and identify the most effective digital tools for optimizing logistics processes.* ***Methodology.*** *A comparative analysis was conducted using operational data collected before and after the implementation of intelligent systems. Key performance indicators included fuel consumption, idle time, maintenance frequency, and penalties for violating transportation conditions. The study incorporated modeling techniques to simulate different transport scenarios, vehicle types, and automation levels, revealing potential cost savings ranging from 15% to 25%.* ***Originality.*** *This research presents an integrated framework combining satellite tracking, CAN-bus diagnostics, IoT sensors (load, temperature, humidity), cloud-based fleet management, and AI-driven dispatching. The novelty lies in the synthesis of these technologies into a unified system tailored for grain logistics, enabling predictive analytics and real-time decision-making.* ***Practical value.*** *The findings support the adoption of intelligent monitoring systems as a strategic tool for improving economic efficiency and transport safety in agricultural logistics. Recommendations are provided for selecting appropriate technical solutions based on transport type and operational context. The results are applicable to investment planning, digital platform development for the agricultural sector, and regional policy-making in energy-efficient transport infrastructure.*

Key words: *intelligent monitoring systems, road transport, grain logistics, operational costs, telematics, agricultural transportation, digital technologies in transport, transport optimization.*

Buriak Valerii[1], Postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, btr.vl@i.ua, tel. +38 067-216-64-30, ORCID: 0009-0009-6030-4173

Kashkanov Andrii[1]**,** Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, a.kashkanov@vntu.edu.ua, tel. +38 067-754-54-97, ORCID: 0000-0003-3294-6135

[1]Vinnytsia National Technical University, 95, Khmelnytsky highway, Vinnytsia, 21021, Ukraine.