УДК 656.135:631.56

В.В. Буряк, А.А. Кашканов
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

УПРАВЛІННЯ ЗБЕРЕЖЕНІСТЮ ТА ЕФЕКТИВНІСТЮ ДОСТАВКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ GPS-ДАНИХ

У роботі досліджено питання управління збереженістю та операційною ефективністю доставки насіння соняшнику автомобільним транспортом. Оцінено специфіку соняшнику як високовартісної та вразливої олійної культури, транспортування якої супроводжується ризиками крадіжок, усушки й псування вантажу. Обґрунтовано застосування телематичного комплексу на основі обробки GPS-даних, паливних датчиків та електронних систем пломбування кузова для усунення людського фактора. Запропоновано алгоритм диспетчерського нагляду за допомогою механізму геозон. Практичні результати доводять, що запропонований підхід дозволяє оптимізувати витрати палива на 8-12%, скоротити час перебування зерновозів у дорозі на 10-12% та мінімізувати ризики втрати вантажу із терміном окупності системи за 6-9 місяців.

***Ключові слова**: збереженість вантажу, ефективність доставки, насіння соняшнику, автомобільний транспорт, GPS-дані, телематика, геозони, логістичні ризики.*

The paper investigates the issues of managing transport security and operational efficiency in the road logistics of sunflower seeds. The specifics of sunflower seeds as a high-value and vulnerable oilseed crop are assessed, the transportation of which is accompanied by risks of theft, shrinkage, and cargo spoilage. The implementation of a telematics complex based on GPS data processing, fuel sensors, and electronic body sealing systems is substantiated to eliminate the human factor. A dispatch supervision algorithm using a geofencing mechanism is proposed. Practical results prove that the suggested approach optimizes fuel costs by 8-12%, reduces truck transit time by 10-12%, and minimizes cargo loss risks, with a system ROI period of 6-9 months.

***Key words**: cargo security, delivery efficiency, sunflower seeds, road transport, GPS data, telematics, geofencing, logistics risks.*

Сучасний стан глобального агропромислового комплексу вимагає максимальної оптимізації кожного етапу постачання – від збирання врожаю в полі до його кінцевої переробки чи відвантаження на експорт [1]. Логістика зернових культур є капіталомістким і технологічно складним процесом, де ефективність управління флотом транспортних засобів безпосередньо впливає на маржинальність агробізнесу. Будь-які затримки в дорозі, неефективне планування рейсів чи простої автомобілів у чергах перед портовими терміналами та олієекстракційними заводами призводять до колосальних фінансових збитків, зниження якості продукції та зриву міжнародних контрактів [2, 3]. У зв'язку з цим автоматизація контролю перевезень та впровадження систем точного моніторингу стають ключовими чинниками виживання аграрних підприємств на конкурентному світовому ринку [4, 5].

Насіння соняшнику є однією з найбільш високорентабельних, але водночас специфічних і «примхливих» олійних культур. Його логістика автомобільним транспортом супроводжується низкою технологічних труднощів: низька насипна щільність (маса об'єму вантажу значно менша порівняно з пшеницею чи кукурудзою), висока вартість кожної тонни сировини та критична чутливість до вологи і механічних пошкоджень. Через високу ринкову вартість соняшник традиційно є об'єктом підвищеного ризику несанкціонованого доступу, простіше кажучи – розкрадання вантажу під час транспортування. Крім того, неконтрольована зміна маршруту водіями або «ліві» рейси під час збиральної кампанії прямо збільшують собівартість кінцевого продукту (соняшникової олії) через перевитрату дорогого дизельного пального та знос техніки.

З огляду на зазначені виклики, метою цього дослідження є науково-практичне обґрунтування розробки системи управління збереженістю та операційною ефективністю доставки насіння соняшнику автомобільним транспортом шляхом використання телематичних комплексів та аналізу GPS-даних у реальному часі.

Насіння соняшнику суттєво відрізняється від класичних зернових культур (пшениці, кукурудзи, ячменю), що вимагає особливого підходу до організації логістичних процесів. Ключовою

фізико-механічною властивістю соняшнику є його низька насипна щільність (насипна маса), яка зазвичай коливається в межах від 300 до 420 кг/м³. Для порівняння, щільність пшениці становить 750-800 кг/м³. Це означає, що для перевезення однакової за вагою партії соняшнику потрібен кузов автомобіля у два рази більшого об'єму. Як наслідок, логісти змушені залучати великогабаритні зерновози з високими бортами (об'ємом 60-90 м³). Окрім цього, насіння має високу рухливість (плинність) та специфічну шорстку поверхню, через що вантаж легко зміщується під час руху, створюючи додаткове навантаження на тенти та борти автомобіля.

Транспортування соняшнику автомобільними шляхами пов'язане із трьома критичними категоріями ризиків:

1. Крадіжки та несанкціонований доступ: Через високу ринкову вартість соняшнику насіння є «привабливим» об'єктом для розкрадання. Найчастіше це відбувається шляхом часткового відсипання вантажу під час незапланованих зупинок у глухих місцях, де водії діють у змові з перекупниками. Без належного технічного нагляду виявити нестачу в кілька сотень кілограмів на багатотонній машині під час приймання вкрай важко.

2. Псування вантажу: Соняшник має високий вміст олії (до 50-54%) та є гігроскопічною культурою. У разі потрапляння вологи через неякісний чи пошкоджений тент зерновоза, всередині насипу стрімко запускаються процеси самозігрівання та гідролізу жирів. Це призводить до різкого підвищення кислотного числа олії, появи плісняви та повної втрати товарної якості сировини.

3. Природна усушка та просипання: Під час тривалого транзиту в спекотну погоду вологість насіння природним чином знижується, що веде до законної зміни маси (усушки). Проте під виглядом природної усушки недобросовісні перевізники часто маскують банальні крадіжки. Крім того, через мікрощілини в бортах або стиках кузова дрібне насіння соняшнику постійно просипається на дорогу під дією вібрації.

Головним деструктивним чинником у класичній агрологістиці є «ефект чорної скриньки» – повна відсутність контролю за транспортним засобом після його виїзду з території агропідприємства. Традиційний паперовий або телефонний контроль не дозволяє власнику вантажу бачити реальну ситуацію на дорозі. Проблема непрозорості може проявлятися у:

- несанкціонованих відхиленнях від маршруту для виконання позапланових рейсів або заїзду на приватні залізничні тупики й нелегальні склади;
- навмисному затягуванні часу в дорозі, що порушує графік приймання сировини на переробних заводах і створює штучні черги;
- приховуванні фактів дорожньо-транспортних пригод, поломок техніки або зупинок у зонах із високим ризиком викрадення вантажу.

За відсутності об'єктивних цифрових даних у реальному часі, компанія-відправник залишається абсолютно беззахисною перед людським фактором і несе прямі фінансові збитки.

Сучасна система телематичного контролю зерновозів [6-8] розгортається на базі трьох взаємопов'язаних апаратних елементів, які перетворюють звичайну вантажівку на інтегрований цифровий вузол.

1. Апаратна частина (Hardware): трекери, датчики, пломби.

На автомобіль встановлюються бортові GPS-термінали із високочутливими зовнішніми захищеними антенами. Вони безперервно зчитують географічні координати, швидкість, напрямок руху та висоту над рівнем моря. Пристрої мають вбудовану енергонезалежну пам'ять (чорну скриньку), яка записує маршрут навіть у зонах відсутності мобільного покриття і вивантажує дані в систему при відновленні зв'язку. У паливні баки монтуються цифрові ємнісні датчики рівня палива (ДРП) з високою точністю (похибка не перевищує 1%). Вони фіксують поточний об'єм дизельного пального, що дозволяє системі в режимі реального часу відстежувати графік витрат, а головне – миттєво реєструвати факти мікрозливів палива під час руху чи стоянки. З огляду на специфіку соняшнику, критично важливим є контроль доступу до вантажу. Для цього застосовуються бездротові Bluetooth-датчики (BLE-електронні пломби), які встановлюються на механізми натягування тенту, задні борти та люки розвантаження. Будь-яка спроба підняти тент або відкрити борт поза офіційною точкою вивантаження призводить до замикання або розриву контуру датчика.

2. Програмне забезпечення для диспетчеризації.

Дані з усього встановленого обладнання через захищені канали зв'язку (GSM/GPRS) передаються на хмарний сервер телематичної платформи. Спеціалізоване програмне забезпечення агрегує ці потоки інформації та візуалізує їх на інтерактивній карті для диспетчера агрокомпанії. Інтерфейс системи дозволяє автоматично формувати електронні відомості, вести облік робочого часу

водіїв, контролювати стилі водіння (різкі гальмування та прискорення, що мінімізує просипання соняшнику через вібрацію) та інтегрувати ці дані із внутрішніми ERP-системами підприємства [9] (наприклад, Business Automation Software або IT-Enterprise) для автоматичного виписування подорожніх листів.

3. Геозони та контроль зупинок.

Одним із найбільш ефективних інструментів автоматизації контролю є механізм геозон. Геозона – це віртуальний географічний контур довільної форми, окреслений на цифровій карті навколо стратегічних об'єктів: полів, вагових комплексів, АЗС, олієекстракційних заводів чи портів.

Алгоритм роботи (табл. 1) налаштовується таким чином, що система автоматично контролює:

• Коридори безпеки: Навколо затвердженого маршруту створюється буферна зона завширшки, наприклад, 50-100 метрів. Якщо зерновоз перетинає цю межу, система миттєво генерує тривожне сповіщення (SMS, Telegram, Viber або Push-повідомлення диспетчеру).

• Авторизовані зупинки: Програма чітко розрізняє технологічні зупинки (світлофори, залізничні переїзди) від тривалих стоянок. Якщо автомобіль зупиняється поза межами санкціонованих геозон (наприклад, на стихійній парковці біля траси) на час понад 3-5 хвилин, це автоматично кваліфікується як позаштатна ситуація з ризиком несанкціонованого відсипання соняшнику або зливу палива, що вимагає негайного втручання служби безпеки.

Таблиця 1 – Алгоритм диспетчерського нагляду за допомогою механізму геозон

Геозона	Подія	Автоматична дія
1. Завантаження	Виїзд із поля	Реєстрація рейсу, активація пломбування
2. Контрольні точки	Вхід у геозону	Фіксація часу, стан вантажу
3. Позазонні зупинки	Зупинка > 5 хв	Сповіщення диспетчеру
4. Відхилення маршруту	>1 км від траси	Тривожний сигнал
5. Приймальний пункт	Вхід у геозону	Завершення рейсу, формування звіту

Практичне впровадження розробленого телематичного підходу пройшло апробацію в умовах Товариства з обмеженою відповідальністю «Карго Трак» (Вінницька обл., Вінницький р-н, с. Якушинці) на автопоїздах у складі автомобілів-тягачів MAN TGA 18.430 та напівпричепів-зерновозів Kogel (рис. 1), які були задіяні на перевезеннях насіння соняшнику із залізничної станції Козятин до Вінницького олійножирового комбінату (рис. 2). При цьому використовувалась система моніторингу транспорту «Глобус», функціональні можливості якої подані у таблиці 2.



Рисунок 1 – Загальний вигляд задіяних транспортних засобів

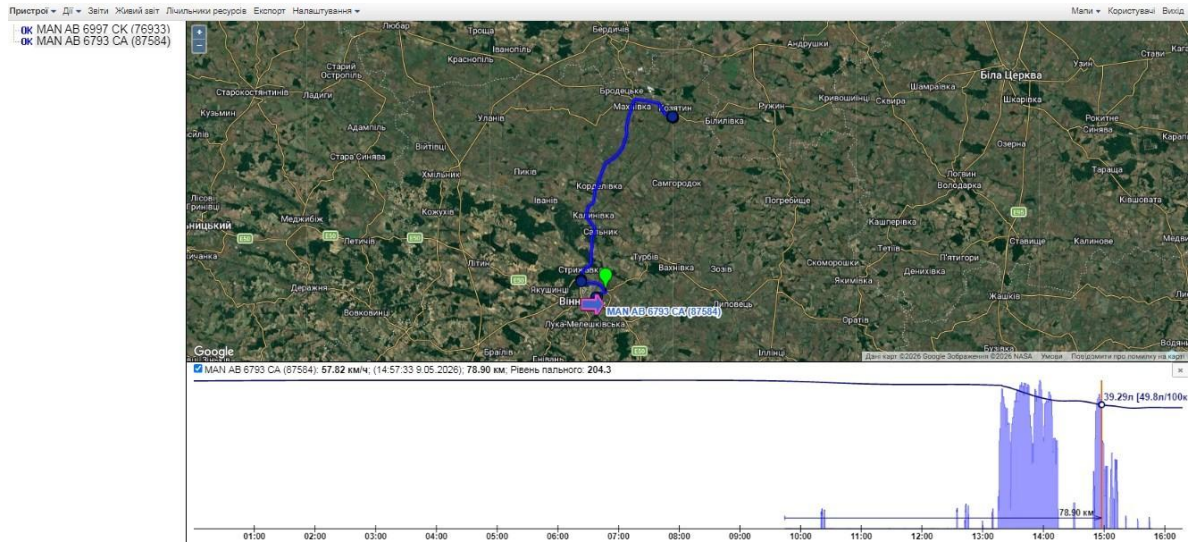

Рисунок 2 – Моніторинг маршруту за допомогою хмарної аналітичної платформи СКТ «Глобус» [1]

Таблиця 2 – 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, 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

Верифіковані результати апробації такі:

1. Завдяки покращенню передбачуваності та стабільності логістики загальний час перебування зерновозів у дорозі скоротився на 10-12%. Це дало змогу впровадити концепцію «точно в строк» і зменшити час очікування на приймальному пункті Вінницького олійножирового комбінату.

2. Запровадження електронного пломбування кузова з GPS-контролем істотно скоротило комерційні втрати соняшнику під час перевезення, забезпечивши високий рівень захисту вантажу. Використання систем моніторингу стилю водіння сприяло зменшенню вібрацій та просипання насіння на автошляхах, що дозволило знизити втрати до технологічно допустимого рівня.

3. Впровадження системи моніторингу витрат пального забезпечило скорочення витрат на дизельне пальне. У середньому економія становить 8-12%, що підтверджує ефективність сучасних телематичних технологій у перевезеннях зерновими автопоїздами.

4. Фінансовий аналіз показує, що інвестиції у встановлення комплексу телематичного контролю на один автомобіль-зерновоз окупаються в середньому протягом 6-9 місяців.

Таким чином, проведене дослідження та аналіз практичного досвіду впровадження телематичних систем підтверджують, що перехід від традиційних методів управління автопарком до цифрового моніторингу в реальному часі є ключовим напрямом розвитку сучасної агрологістики. Такий підхід забезпечує підвищення ефективності перевезень, зниження витрат та мінімізацію комерційних втрат, що робить його стратегічно необхідним для конкурентоспроможності галузі.

Подальший розвиток систем моніторингу перевезень зернових культур в Україні тісно пов'язаний із впровадженням технологій штучного інтелекту, машинного навчання та інтернету речей [10, 11]. Наступним етапом еволюції цифрової логістики стане поступовий перехід від реактивних систем контролю до прогностичних моделей, здатних передбачати час прибуття, оптимізувати маршрути та оцінювати поведінку водіїв [12, 13]. Це відкриває перспективи підвищення ефективності та зниження ризиків, хоча практична реалізація залежить від доступності даних та рівня технологічної інтеграції.

6 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. Том 1, №22. С. 163-169. https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1357

7 Кашканов А.А., Буряк В.В. Управління ефективністю перевезення зернових культур автомобільним транспортом на основі критеріального підходу. Автошляховик України. 2025. №1. С. 56-62. https://doi.org/10.33868/0365-8392-2025-1-282-56-62

8 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

9 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

10 Garima, Olaru, D., Smith, B., & Siddique, K. H. M. (2024). Decision-Making in Grain Supply Chains for Sustainable Food System. Sustainability (Switzerland), 16(24), Article 10816. Advance online publication. https://doi.org/10.3390/su162410816

11 Буряк В.В., Кашканов А.А. Методика синтезу інтегрованої логістично-інформаційної системи доставки зернових культур в умовах цифрової трансформації. Вісник машинобудування та транспорту. 2025. 22(2), С. 16-25. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2025-22-2-16-25

12 Hussein, J. B., Workneh, T. S., Kassim, A., Ntsowe, K., Melesse, S. F., & El-Mesery, H. S. (2025). A review on the impact of big data analytics in transforming agricultural practices, food processing, and preservation strategies. Applied Food Research, 5(2), 101234. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101234

13 Jayarathna, C. P., Agdas, D., Dawes, L., & Yigitcanlar, T. (2021). Multi-Objective Optimization for Sustainable Supply Chain and Logistics: A Review. Sustainability, 13(24), 13617. https://doi.org/10.3390/su132413617.

14 Woźniakowski T, Jałowiecki P, Zmarzłowski K. ERP systems and warehouse management by WMS. Information System in Management. 2018. 7(2). 141-51. https://doi.org/10.22630/ISIM.2018.7.2.13

15 Nawaz, M., Babar, M.I.K. IoT and AI for smart agriculture in resource-constrained environments: challenges, opportunities and solutions. Discov Internet Things 5, 24 (2025). https://doi.org/10.1007/s43926-025-00119-3

16 Raji, H. (2024). The Integration of Internet of Things in Agriculture Supply Chain Management. In: Azrour, M., Mabrouki, J., Alabdulatif, A., Guezzaz, A., Amounas, F. (eds) Smart Internet of Things for Environment and Healthcare. Studies in Computational Intelligence, vol 1165. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70102-3_20.

17 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

18 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

БУРЯК Валерій Володимирович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, e-mail: btr.vl@i.ua

КАШКАНОВ Андрій Альбертович – д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua

BURIAK Valerii, PhD student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: btr.vl@i.ua

KASHKANOV Andrii, Doctor of Science in Engineering, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@vntu.edu.ua