

Гребенюк І. В.,

здобувач вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Науковий керівник: Пархоменко О. Ю., к.ф.-м.н., доцент кафедри економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЧИСЛЕННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ВИТРАТ ПАЛИВА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЮ ТЕХНІКОЮ

Перехід агровиробництва до цифрового управління значною мірою мотивований необхідністю підвищення точності обліку ресурсів, зниження витрат і зменшення впливу на довкілля; у цьому контексті питання моніторингу витрат палива набуває практично стратегічного значення, оскільки паливо залишається однією з найбільших статей собівартості польових робіт і водночас головним джерелом викидів CO₂ в рослинництві, а значущість реального часу і точності вимірювань в сучасних умовах підтверджується як оглядовими аналізами цифровізації агросектору, так і прикладними дослідженнями телеметрії на комбайнах і тракторах.

Сучасні системи моніторингу витрат палива ґрунтуються на інтеграції трьох основних технологічних шарів: сенсорному шарі (датчики рівня палива, витратоміри, параметри двигуна, що зчитуються через CAN-шину), телематичному шарі (GNSS/GPS-модулі, трекери, канали передачі даних) і аналітичному шарі (хмарні платформи, системи візуалізації та модулі машинного навчання для класифікації робочих станів і прогнозування споживання). Поєднання цих шарів дає змогу визначати не просто моментальну витрату, а відносити споживання до конкретних операцій, встановлювати співвідношення витрати/га та виявляти аномалії (наприклад, несанкціоновані зливи або режим холостого ходу), що доводиться практичними експериментами та польовими вимірами.

Практичний досвід і дослідження свідчать, що застосування автоматизованого моніторингу може суттєво знизити фактичні витрати палива через оптимізацію маршрутів, зниження часу холостих ходів, кращу організацію робочого процесу та своєчасне виявлення технічних проблем; у дослідженнях по комбайнах було зафіксовано зниження витрат при автоматичному керуванні до показників, які перевищують значущість випадкових похибок ручного обліку, а імплементація алгоритмів класифікації робочих станів на основі CAN-даних дозволяє досягти високої точності віднесення витрат до робочих режимів, що відкриває шлях до коректного розподілу ресурсних витрат між полями і операторами.

Аналітика, реалізована в хмарних рішеннях, дає змогу не лише формувати оперативні звіти, але й будувати прогнози для планування бюджету та технічного обслуговування; моделі, що навчаються на історичних телеметричних даних, дозволяють прогнозувати середню витрату палива на операцію з урахуванням типу ґрунту, навантаження, погодних умов та конфігурації навісного обладнання, що робить цифрові інструменти корисними

і для оперативного менеджменту, і для довгострокового стратегічного планування.

Впровадження таких систем у господарствах вимагає врахування кількох обмежень: необхідності якісного зв'язку (покриття GSM/4G/LOTE), сумісності з існуючою технікою (підключення до CAN/ISOBUS), витрат на встановлення і навчання персоналу, а також побудови процедур валідації та очищення даних; одночасно міжнародні дослідження показують, що бар'єри впровадження переважно організаційно-економічні, а не технологічні, і що політика підтримки цифровізації може значно прискорити масштабну адаптацію цих рішень у регіональних масштабах.

Для наочного підкреслення якісної різниці між традиційними і цифровими підходами до обліку палива нижче подано узагальнену таблицю, що синтезує емпіричні спостереження і висновки з рецензованих досліджень.

Таблиця 1. Порівняння традиційного і цифрового обліку витрат палива (узагальнення даних з джерел)

Показник	Ручний (традиційний) облік	Цифровий моніторинг (телеметрія + CAN + аналітика)
Тип похибки	велика, залежить від людини (≈10-15%)	мала (1-4%), обумовлена точністю датчиків і алгоритмів
Частота оновлення	періодична (до 1 разу/добу)	у реальному часі / щохвилини
Виявлення аномалій (зливи, помилки)	важко відстежити	автоматичне сповіщення / журнал подій
Віднесення витрат до операції	приблизне	точне (по GNSS + режимам двигуна)
Можливість прогнозування	відсутня	доступна (історичні дані + ML-моделі)

(Дані таблиці узагальнено на основі польових досліджень і наукових статей – Juostas & Jotautiene 2022; Bettucci et al. 2024; Savickas 2025; OECD 2022).

Подана в роботі таблиця наочно відображає принципові відмінності між традиційним ручним обліком витрат палива та сучасними цифровими системами моніторингу, побудованими на основі телеметрії, CAN-даних і аналітичних інструментів. Порівняння ключових показників свідчить, що ручні методи характеризуються значною похибкою, зумовленою людським фактором та періодичністю збору інформації, що унеможливлює оперативний контроль і своєчасне реагування на відхилення. Натомість цифровий моніторинг забезпечує високу точність вимірювань і регулярне оновлення даних у режимі, наближеному до реального часу, що дозволяє пов'язувати споживання палива з конкретними технологічними операціями, умовами роботи та параметрами двигуна. Особливо важливою перевагою цифрових систем є автоматичне виявлення аномалій, зокрема несанкціонованих зливів або надмірного часу

холостого ходу, а також можливість подальшого прогнозування витрат на основі історичних даних і моделей машинного навчання, що значно підвищує ефективність управління ресурсами.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що впровадження сучасних цифрових технологій обчислення та моніторингу витрат палива є важливим чинником підвищення ефективності управління аграрною технікою та оптимізації ресурсних витрат у сільськогосподарському виробництві. Інтеграція датчиків витрати і рівня палива, CAN-шини, GNSS-модулів і телематичних платформ дозволяє отримувати детальну, достовірну та просторово прив'язану інформацію про роботу машин у реальних умовах експлуатації. Це створює основу для переходу від приблизного обліку до точного аналізу витрат палива за окремими операціями, полями та операторами, що є принципово важливим для економічного планування і контролю собівартості.

Використання аналітичних інструментів і моделей машинного навчання на основі накопичених телеметричних даних відкриває додаткові можливості для прогнозування витрат, оптимізації маршрутів руху техніки, зниження тривалості холостих режимів і своєчасного виявлення технічних несправностей. Окрім безпосереднього економічного ефекту, такі системи сприяють зменшенню викидів парникових газів та підвищенню екологічної стійкості агровиробництва. Разом з тим ефективність впровадження цифрових рішень залежить від якості телекомунікаційної інфраструктури, сумісності з наявним машинно-тракторним парком і рівня підготовки персоналу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення алгоритмів аналізу CAN-даних, розширення функціональності прогнозних моделей та

адаптацію цифрових систем моніторингу до умов господарств різного масштабу.

Список використаних джерел

1. Comparetti A., Fagiolini A., Fountas S., Cascio V. Field robots for precision agriculture. *AIMS Agriculture and Food*. 2025. Vol. 10, No. 4. P. 885-916. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2025046>
2. Soussi A., Zero E., Sacile R., Trincherro D., Fossa M. Smart sensors and smart data for precision agriculture: A review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 8, Article 2647. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*. 2018. Vol. 18, Article 2674. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082674>
4. Łagiewska M., Panek-Chwastyk E. Integrating remote sensing and autonomous robotics in precision agriculture: Current applications and workflow challenges. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, No. 10, Article 2314. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15102314>
5. Global Navigation Satellite Systems as State-of-the-Art Solutions in Precision Agriculture: A Review of Studies Indexed in the Web of Science. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 7, Article 1417. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071417>