УДК 629

Мачульський М. А.
Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

ВПЛИВ СТИЛЮ ВОДІННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ТА ПАЛИВНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N3 У СЕРЕДОВИЩІ CRM-ПЛАТФОРМ

Анотація. У тезах досліджено вплив людського фактора на показники паливної та експлуатаційної ефективності важких комерційних автомобілів. Обґрунтовано обмеженість традиційних FMS-систем у формуванні культури еко-драйвінгу. Запропоновано використання CRM-платформ з інтегрованими модулями штучного інтелекту для розрахунку багатофакторного індексу стилю водіння, що дозволяє знизити витрати палива та оптимізувати ресурс вузлів автомобіля завдяки персоналізованій аналітиці.

***Ключові слова**: стиль водіння, паливна ефективність, вантажні автомобілі категорії N3, CRM-платформа, штучний інтелект, еко-драйвінг.*

Abstract. The abstracts investigate the influence of the human factor on the fuel and operational efficiency indicators of heavy commercial vehicles. The limitations of traditional FMS systems in shaping eco-driving culture are substantiated. The use of CRM platforms with integrated AI modules is proposed to calculate a multi-factor driving style index, enabling reduced fuel consumption and optimized vehicle component life through personalized analytics.

***Key words**: driving style, fuel efficiency, N3 category trucks, CRM platform, artificial intelligence, eco-driving.*

Постановка проблеми у загальному вигляді

Проблема мінімізації споживання пального та оптимізації загальних експлуатаційних витрат важкотоннажного транспорту набуває критичної ваги на тлі глобальних викликів логістичної галузі. Сучасні транспортні підприємства працюють в умовах постійного зростання вартості паливно-мастильних матеріалів, які в структурі загальної вартості володіння (Total Cost of Ownership, TCO) автомобілями категорії N3 можуть сягати 30-40% [9]. Водночас жорсткі екологічні норми Європейського Союзу (регламенти щодо викидів CO2 та інструмент VECTO) вимагають від перевізників невідкладного переходу до ресурсозберігаючих технологій [7]. Зважаючи на те, що конструктивні можливості модернізації та підвищення коефіцієнта корисної дії двигунів внутрішнього згоряння об'єктивно наближаються до фізичних меж, зумовлених законами термодинаміки [1], вектор інженерних та управлінських рішень неминуче зміщується у сферу оптимізації безпосередньо експлуатаційних процесів. Як свідчать профільні дослідження світових інституцій, ключовим та найменш стабільним ресурсом для зменшення енергозатрат є саме людський фактор. Різниця у стилі керування транспортним засобом здатна формувати від 10% до 15% відхилень у витратах палива для абсолютно ідентичних вантажівок, що виконують однакові логістичні завдання на однакових маршрутах [2].

Такий суттєвий вплив людського фактора пояснюється складністю керування автомобілем категорії N3, повна маса якого може перевищувати 40 тонн. Кожен необґрунтований розгін, неправильно обрана передача або несвоєчасне гальмування призводять до колосальних втрат кінетичної енергії, для відновлення якої витрачаються додаткові літри дизельного пального. Відповідно, формування стійкої культури еко-драйвінгу серед водіїв перетворюється з бажаної ініціативи на критичну умову виживання та конкурентоспроможності транспортної компанії на ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання впливу стилю водіння на ефективність експлуатації транспортних засобів широко висвітлено у працях як вітчизняних, так і закордонних науковців. У роботах А. І. Воркута закладено фундаментальні основи організації та проєктування транспортних процесів [4], проте сучасний етап цифровізації вимагає нових підходів. Закордонні дослідники, такі як M. Tideman, L. Guzzella та A. Sciarretta, переконливо доводять критичний вплив поведінкових характеристик водія на енергоефективність важких вантажівок [2, 3]. У їхніх роботах обґрунтовано математичні моделі втрат палива через нераціональні режими роботи двигуна.

Водночас на ринку існує велика кількість телематичних рішень (Fleet Management Systems – FMS), які пропонуються безпосередньо виробниками транспортних засобів (наприклад, Volvo Dynafleet або Scania Fleet Management) або сторонніми провайдерами. Однак, як відмічають дослідники у сфері автомобільної телематики, існуючі FMS здебільшого реалізують спрощений, реактивний підхід до оцінки дій водія. Вони налаштовані на реєстрацію жорстких порушень регламенту (наприклад, перевищення швидкості, перекручування обертів двигуна або екстрене гальмування). Їхня архітектура є закритою (явище vendor lock-in), що ускладнює роботу зі змішаними автопарками [6]. Як зазначають M. E. Porter та J. E. Heppelmann у дослідженнях розумних підключених продуктів, відсутність глибокої інтеграції потокових даних автомобіля з внутрішньокорпоративними управлінськими процесами (CRM/ERP системами) та програмами навчання персоналу робить такі ізольовані FMS-рішення недостатньо ефективними для системного покращення експлуатаційних показників [5].

Виклад основного матеріалу дослідження

Для розв'язання вищеописаної проблеми пропонується принципово новий методологічний підхід, а саме перенесення центру агрегації та інтелектуальної обробки телематичних даних у середовище хмарних CRM-систем, зокрема з використанням архітектури платформи Salesforce. Використання спеціалізованих модулів Salesforce IoT Cloud та інструментів безшовної інтеграції MuleSoft дозволяє створити єдиний інформаційний простір компанії. У такому середовищі телематичні дані, що надходять з CAN-шини вантажівки (згідно зі стандартом J1939) у режимі реального часу, поєднуються з операційними бізнес-даними, такими як маршрутні листи, електронні товарно-транспортні накладні (e-TTN) та індивідуальні профілі водіїв.

Така глибока інтеграція розрізнених масивів інформації дозволяє відмовитися від лінійного контролю швидкості на користь динамічного розрахунку багатофакторного коефіцієнта стилю водіння ($Kstyle$), який є невід'ємною складовою інтегрального показника ефективності експлуатації ($Eeff$):

$$Eeff = \frac{Qfact - Qnorm}{L * Kstyle} \quad (1)$$

де $Qfact$ та $Qnorm$ – фактична та динамічно розрахована нормативна витрата палива; L – коефіцієнт фактичного завантаження транспортного засобу. Коефіцієнт стилю водіння ($Kstyle$) у запропонованій моделі є результатом безперервного скорингу великих даних (Big Data Analytics). Він включає детальний аналіз таких критичних параметрів:

1. Ефективність використання холостого ходу (Idling Management). Система аналізує не лише час роботи двигуна без руху, а й контекст, чи був простій виправданим або це була нераціональна витрата ресурсу.

2. Майстерність використання інерції (Coasting). Оцінюється здатність водія прогнозувати дорожню ситуацію та використовувати кінетичну енергію 40-тонного автопоїзда для руху з нульовою витратою палива.

3. Дотримання оптимальних режимів двигуна (Green Band). Моніторинг утримання обертів у діапазоні максимального крутного моменту, де питома витрата пального є мінімальною.

4. Динамічна стабільність. Кількісний аналіз різких прискорень та гальмувань, що впливають на знос гальмівних систем та шин.

Особливе місце в архітектурі рішення посідає інтелектуальний модуль Salesforce Einstein AI. На відміну від стандартних звітів, ШІ-алгоритми здатні виявляти неочевидні кореляції: наприклад, пов'язувати специфічні маневри водія на певних ділянках маршруту зі зростанням ризику позапланового ремонту пневматичних систем. Застосування методів машинного навчання дозволяє системі працювати в режимі «Next Best Action». Для прикладу, якщо індекс $Kstyle$ стабільно знижується, CRM автоматично формує рекомендації для менеджера або призначає водієві інтерактивні модулі з еко-драйвінгу через мобільний додаток. Таким чином, система забезпечує перехід від жорсткого адміністративного контролю до проактивного розвитку компетенцій персоналу [8].

Висновки

1. Проаналізовано обмеження існуючих пропрієтарних FMS-систем та встановлено, що їхня закритість та ізольованість від бізнес-процесів підприємства не дозволяє повноцінно використовувати потенціал телематичних даних для навчання водіїв.

2. Обґрунтовано доцільність впровадження хмарних CRM-платформ як центрального вузла агрегації даних, що забезпечує синергію між технічними показниками вантажівки та економічними метриками логістичного процесу.

3. Запропоновано методологію формування багатофакторного коефіцієнта $Kstyle$, який дозволяє оцінювати стиль водіння через призму енергоефективності та ресурсозбереження.

4. Теоретично обґрунтовано, що використання предиктивної аналітики на базі штучного інтелекту (Salesforce Einstein AI) має значний потенціал для досягнення економії палива на рівні 10-15 %, а також сприятиме суттєвому підвищенню експлуатаційної надійності автомобілів категорії N3 завдяки персоналізованому коригуванню поведінки водіїв та предиктивному виявленню ризиків поломок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. Transportation Engineering. 2020. Vol. 1. P. 100005.
2. Fuel Economy of Heavy-Duty Vehicles: Implications of Technology and Driver Behavior / M. Tideman et al. Washington, DC : ICCT, 2012.
3. Guzzella L., Sciarretta A. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization. Berlin : Springer, 2013. 346 p.
4. Воркут А. І. Проектування транспортних процесів. Київ : Транспорт, 2002. 432 с.
5. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review. 2014. Vol. 92, No. 11. P. 64–88.
6. Kaiser C., Stocker A., Fellmann M. Monetizing Car Data: A Literature Review on Data-Driven Business Models. Proceedings of ECIS. Portsmouth, 2018.
7. Monitoring CO2 emissions from new heavy-duty vehicles in Europe / European Environment Agency. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023.
8. Zhu L., Yu F. R., Wang Y., Ning B., Tang T. Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A Survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2019. Vol. 20, No. 1. P. 383–398.
9. An Analysis of the Operational Costs of Trucking / American Transportation Research Institute (ATRI). Arlington, VA, 2023. 68 p.

МАЧУЛЬСЬКИЙ Михайло Андрійович – аспірант кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: mykhailo.machulskyi@gmail.com.

MACHULSKYI Mykhailo – postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk National Technical University, e-mail: mykhailo.machulskyi@gmail.com.