

УДК 629.331

ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Голуб Д.В.¹, к.т.н., доц.,
Пальшатік Р.² PhD, проф.
Полюхович В.М.¹**

Центральноукраїнський національний технічний університет¹
Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса²

Сучасні ринкові відносини пред'являють високі вимоги до ефективності використання автомобільного транспорту, який бере участь у діяльності різних галузей промисловості, автотранспортні витрати включаються в вартість готової продукції. Зниження цих витрат, головним чином, за рахунок зменшення собівартості транспортних послуг безпосередньо впливає на економічні показники багатьох підприємств. Домогтися підвищення ефективності використання автомобільного транспорту можна за рахунок зниження витрат на пально-мастильні матеріали, які в окремих випадках можуть досягати 60% у структурі собівартості транспортних послуг.

Як правило, значний вплив на показники паливної економічності автомобілів здійснюють умови експлуатації, які включають в себе різні групи факторів, у тому числі дорожні умови експлуатації. У цій групі умов експлуатації одним із значущих за мірою впливу на зміну витрати палива автомобілів є такий фактор як тип і стан дорожнього покриття. Численні дослідження і досвід експлуатації показують, що витрата палива автомобілів збільшується на дорогах з перехідним і нижчими типами покриттів в порівнянні з дорогами з удосконаленими покриттями.

Як правило, для автомобілів різних марок і моделей ступінь зміни показників паливної економічності на дорогах IV–V категорій різна, що пояснюється їх конструктивними особливостями, однак, діюча в даний час методика нормування витрат палива недостатньо повно враховує різноманітність дорожніх умов експлуатації і різноманітні конструктивні рішення транспортних засобів. У результаті на практиці нормоване значення витрат палива може виявитися заниженим, так і завищеними, що негативно позначається на ефективності використання автомобільного транспорту. Раніше для вирішення завдань підвищення ефективності використання автомобілів в різних умовах експлуатації використовувалися як класична теорія автомобіля, так і теорія пристосованості автомобілів.

Основні наукові принципи роботи: механізм формування витрат палива автомобілі в залежно від типу і стану дорожнього покриття, заснований на принципах просторово-часової концепції; показники стану дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу, наведені до універсальної 12-бальної шкали суворості, що дозволяє враховувати спільний вплив різних за своєю природою факторів умов експлуатації; показники

пристосованості автомобілів до дорожнього покриття по витраті палива, що представляють собою величину зміни витрати палива в суворих умовах експлуатації в порівнянні зі стандартними умовами; визначено, що спільний вплив стану дорожнього покриття і ступеня завантаження автомобілів на витрату палива описується двофакторною математичною моделлю пристосованості; виявлено розходження в рівнях пристосованості автомобілів до зміни стану дорожнього покриття, що свідчить про необхідність диференційованого коригування норм витрат палива при експлуатації автотранспортних засобів на дорогах IV–V категорій.

На першому етапі була розроблена загальна методика досліджень, об'єднує в собі як аналітичні роботи. Цільовою функцією дослідження є мінімізація витрат на паливо при експлуатації автомобілів на дорогах IV–V категорій. На наступному етапі дослідження з використанням положень просторово-тимчасової концепції була розроблена схема, що відображає механізм формування витрат палива автомобілів з різним завантаженням в залежності від типу і стану дорожнього покриття (рис. 1). Як видно з представленого малюнка, при експлуатації автомобілів на дорогах IV–V категорії витрата палива являє собою сукупність різних показників, в яку входять номінальна витрата палива, обумовлена конструктивними особливостями автомобіля і стандартними умовами експлуатації, а також додаткові витрати палива, які обумовлені зміною стану дорожнього покриття, збільшенням ступеня завантаження транспортного засобу, пристосованістю автомобіля до зміни дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу. Іншими словами, збільшення витрати палива автомобіля пояснюється відхиленням умов експлуатації від стандартних значень, причому ступінь цього збільшення залежить від рівня пристосованості транспортного засобу.



Рисунок 1 – Механізм формування витрати палива автомобілів з різним завантаженням в залежності від типу і стану дорожнього покриття

Представлену на рис. 1 схему можна описати неявною залежністю:

$$Q = f(q_n, S_f, \Delta f, S_\gamma, \gamma), \quad (1)$$

де q_n – номінальне значення витрати палива; S_f – показник пристосованості автомобілів до зміни дорожнього покриття; Δf – показник, що характеризує тип і стан дорожнього покриття; S_γ – показник пристосованості автомобілів до зміни ступеня завантаження транспортного засобу; γ – показник, що характеризує ступінь завантаження транспортного засобу.

Враховуючи певні відмінності у значеннях коефіцієнта опору коченню для різних автомобілів на дорогах одного типу, запропоновано характеризувати тип і стан дорожнього покриття показником Δf , який являє собою величину збільшення коефіцієнта опору коченню на дорогах з різним покриттям і визначається за формулою:

$$\Delta f = f_\phi - f_0 \quad (2)$$

де f_ϕ – фактичне значення коефіцієнта опору коченню; f_0 – значення коефіцієнта опору коченню у стандартних умовах (мінімально можливе значення для певного автомобіля).

Очевидно, що в стандартних умовах (на прямій горизонтальній асфальтобетонній дорозі з відсутністю нерівностей) значення показника Δf буде дорівнювати нулю, тоді як в умовах, відмінних від стандартних, його значення буде збільшуватись. Визначити фактичне значення показника Δf можна експериментальним шляхом або з використанням відомих з теорії автомобіля залежностей. Для практичних розрахунків можна скористатися середніми значеннями коефіцієнта опору коченню, одержаними для різних доріг, які

представлені в спеціальних таблицях в науково-технічній літературі. Для можливості спільного обліку різних за своєю природою факторів умов експлуатації, їх порівняння і аналізу необхідно, щоб вони мали однакову розмірність і були приведені до єдиної шкали, яка, в свою чергу, повинна володіти універсальністю застосування. Таким критерієм відповідає 12-бальна шкала суворості, розроблена і використовується в роботі. З метою приведення показника Δf до універсальної шкалою суворості в рамках даної роботи був запропонований індекс стану дорожнього покриття h_f , значення якого змінюються від 0 R до 12 R, де R – безрозмірна одиниця вимірювання суворості (бал).

Значення індексу $h_f = 0$ R відповідає мінімальній суворості розглянутого фактору, тоді як $h_f = 12$ R – відповідає максимальній суворості. Для того щоб перевести значення показника Δf в безрозмірні бали суворості, пропонується використовувати такий вираз:

$$h_f = \frac{12 \cdot (\Delta f - \Delta f_{\min})}{\Delta f_{\max} - \Delta f_{\min}}, \quad (3)$$

де Δf – фактичне значення збільшення коефіцієнта опору коченню; Δf_{\min} – мінімально можливе значення збільшення коефіцієнта опору коченню; Δf_{\max} – максимально можливе значення збільшення коефіцієнта опору коченню.

Аналіз раніше виконаних досліджень в області визначення значень коефіцієнта опору коченню на дорогах з різним покриттям показав, що значення показника Δf змінюються в межах від 0 до 0,344. Відповідно рівняння (3) приймає вигляд:

$$h_f = 34,88 \cdot \Delta f, \quad (4)$$

Для оцінки суворості транспортних умов пропонується використовувати індекс суворості ступеня завантаження транспортного засобу h_γ , значення якого можна визначити за формулою:

$$h_f = 12 \cdot \gamma, \quad (5)$$

де γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності. В ході подальших аналітичних досліджень було визначено, що на дорогах IV–V категорій значення індексу суворості h_f змінюються в межах від 0,07 до 1,25 R, тоді як значення індексу суворості h_γ .

В ході подальших аналітичних досліджень було визначено, що на дорогах IV – V категорій значення індексу суворості h_f змінюється в межах від 0,07 до 1,25 R, тоді як значення індексу суворості h_γ змінюється в діапазоні від 0 R (відсутність завантаження транспортного засобу) до 12 R (максимальне завантаження транспортного засобу). Для зручності практичного використання у відповідності з раніше виконаними роботами в області визначення суворості факторів умов експлуатації діапазон значень індексів h_f та h_γ були розділені на чотири типи інтервалу якості: помірний, помірно-суровий, суровий і дуже суровий табл. 1.

Таблиця 1 – Інтервали якості стану дорожнього покриття і степені завантаження транспортного засобу

Найменування інтервалу	Діапазон вимірювань значення показника Δf	Діапазон вимірювань значень індекса h_f , R	Діапазон вимірювань значень показника γ	Діапазон вимірювань значень індекса h_γ , R
Помірний	0,002-0,010	0,07-0,36	0,01-0,25	0,12-3,0
Помірно-суровий	0,011-0,019	0,37-0,66	0,26-0,50	3,12-6,0
Суровий	0,020-0,027	0,67-0,96	0,51-0,75	6,12-9,0
Дуже суровий	0,028-0,036	0,97-1,25	0,76-1,0	9,12-12,0

Наступний етап досліджень включав в себе розробку показників пристосованості автомобілів до зміни факторів умов експлуатації. Пристосованість являє собою властивість будь-якого автомобіля зберігати значення показників якості на номінальному рівні при відхиленні умов експлуатації від стандартних. Виходячи з цього визначення, можна зробити висновок, що пристосованість автомобіля починає проявляти себе при відхиленні показників факторів умов експлуатації від їх стандартних значень. Для оцінки впливу конструктивних особливостей автомобіля на зміну витрати палива автомобіля в спорядженому стані при русі по дорогах з покриттями різного типу пропонується використовувати параметр чутливості S_f , який показує, на скільки зміниться витрата палива автомобіля в л/100 км при зміні

показника приросту коефіцієнта опору коченню Δf на 0,001. Оскільки пристосованість автомобіля бере участь у формуванні лише додаткової витрати палива, то визначити фактичне значення параметра чутливості S_f можна наступним чином:

$$S_f = \frac{\Delta Q_f}{\Delta f \cdot 10^3} = \frac{q_{so} \cdot m_a \cdot g \cdot \Delta f}{10^3 \cdot \Delta f \cdot \eta_{mp}} = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot q_{so} \cdot m_a}{\eta_{mp}}, \quad (6)$$

де ΔQ_f – додаткова витрата палива, обумовлена зміною стану дорожнього покриття, л/100 км; q_{so} – питома витрата палива, л/100 Нкм; m_a – маса автомобіля в спорядженому стані, кг; g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²; η_{mp} – ККД трансмісії автомобіля.

Таким чином, значення параметра чутливості до автомобіля зміни стану дорожнього покриття S_f залежать від маси автомобіля в спорядженому стані, ККД трансмісії і величини питомої витрати палива q_{so} , яка в свою чергу залежить від типу використовуваного двигуна і застосовуваного палива. В ході аналітичних досліджень було визначено, що питома витрата палива q_{so} змінюється в межах від $7,6 \cdot 10^{-3}$ до $9,6 \cdot 10^{-3}$ л/100км для автомобілів з бензиновими двигунами і від $5,1 \cdot 10^{-3}$ до $5,7 \cdot 10^{-3}$ л/100 км для автомобілів з дизельними двигунами. Аналогічним чином були розроблені параметр чутливості автомобіля S_γ до зміни ступеня завантаження транспортного засобу по витраті палива і параметр чутливості автомобіля $S_{f\gamma}$ до сукупного зміни дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу по витраті палива. Значення параметра чутливості S_γ можна визначити за формулою:

$$S_\gamma = \frac{\Delta Q_\gamma}{\gamma} = \frac{q_{so} \cdot m_a \cdot \gamma \cdot g \cdot f_a}{\gamma \cdot \eta_{mp}} = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot q_{so} \cdot q_n \cdot f_a}{\eta_{mp}} \quad (7)$$

де ΔQ_γ – додаткова витрата палива, обумовлена зміною ступеня завантаження автомобіля, л/100 км; q_n – номінальна вантажопідйомність транспортного засобу, кг; f_a – коефіцієнт опору коченню автомобіля в стандартних умовах. Параметр чутливості S_γ показує, наскільки зміниться витрата палива автомобіля в л/100 км при повному завантаженні автомобіля, коли коефіцієнт використання вантажопідйомності γ дорівнює 1. Значення параметра чутливості $S_{f\gamma}$ визначаються наступним чином:

$$S_{f\gamma} = \frac{\Delta Q_f}{\Delta f \cdot \gamma \cdot 10^3} = \frac{q_{so} \cdot q_n \cdot \gamma \cdot g \cdot \Delta f}{10^3 \cdot \Delta f \cdot \gamma \cdot \eta_{mp}} = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot q_{so} \cdot m_a}{\eta_{mp}} \quad (8)$$

За своїм фізичним змістом параметр чутливості $S_{f\gamma}$ показує, наскільки зміниться витрата палива автомобіля в л/100 км при одночасній зміні приросту коефіцієнта опору коченню на 0,001 і коефіцієнта використання вантажопідйомності на 1. Чим більше значення поданих параметрів чутливості, тим інтенсивніше буде змінюватися витрата палива автомобіля при відхиленні умов експлуатації від стандартних.

Для можливості оцінки рівня пристосованості автомобілів до зміни дорожнього покриття по витраті палива було запропоновано використовувати коефіцієнти пристосованості K_f і $K_{f\gamma}$. При цьому коефіцієнт K_f використовується

для оцінки пристосованості автомобілів в спорядженому стані, тоді як коефіцієнт K_{fy} використовується для визначення рівня пристосованості автомобілів з повним завантаженням.

Значення коефіцієнтів пристосованості K_f і K_{fy} можна визначити за формулами:

$$K_f = \frac{q_0}{q_\phi}; \quad (9)$$

$$K_{fy} = \frac{q_{0n}}{q_{\phi n}}, \quad (10)$$

де q_0 , q_{0n} – витрата палива автомобілів відповідно в спорядженому стані і з повним завантаженням в стандартних умовах, л/100 км; q_ϕ , $q_{\phi n}$ – витрата палива автомобілів відповідно в спорядженому стані і з повним завантаженням при максимальному значенні показника приросту коефіцієнта опору коченню на дорогах IV-V категорії.

Теоретично значення коефіцієнтів пристосованості K_f і K_{fy} змінюються в межах від 0 до 1. Чим ближче значення коефіцієнтів до нуля, тим нижче рівень пристосованості автомобіля, і навпаки, чим ближче значення коефіцієнтів до 1, тим рівень пристосованості вище.

У відповідності з виконаними раніше дослідженнями діапазони значень коефіцієнтів пристосованості K_f і K_{fy} були розбиті на три рівних інтервалу, що відповідає трьом рівням пристосованості автомобілів: низький, середній і високий (табл. 2 і 3). Розподіл автомобілів за тим або іншим рівнем пристосованості пояснюється їх конструктивними особливостями.

Таблиця 2 – Інтервали пристосованості автомобілів в спорядженому стані до зміни дорожнього покриття по витраті палива

Рівні пристосовуваності	Діапазон значень коефіцієнта пристосовуваності K_f	Середнє значення	Типові автомобілі
Низький	0,44 – 0,56	0,5	КамАЗ-65111,
Середній	0,56 – 0,68	0,62	КамАЗ-6520
Високий	0,69 – 0,8	0,74	МАЗ-5551, ГАЗ - 3302

Таблиця 3 – Інтервали пристосованості автомобілів з повним завантаженням до зміни дорожнього покриття по витраті палива

Рівні пристосовуваності	Діапазон значень коефіцієнта пристосовуваності K_{fy}	Середнє значення	Типові автомобілі
Низький	0,35 – 0,54	0,45	КамАЗ-65111,
Середній	0,55 – 0,74	0,64	КамАЗ-6520
Високий	0,75 – 0,95	0,85	МАЗ-5551, ГАЗ - 3302

Відповідність результатів експериментальних досліджень нормального закону розподілу перевірялося за допомогою критеріїв Колмогорова-Смірнова і

Шапіро-Уилка. За експериментальними даними був побудований графік залежності витрати палива досліджуваних автомобілів від значень показника збільшення коефіцієнта опору коченню, який представлений на рис.2.

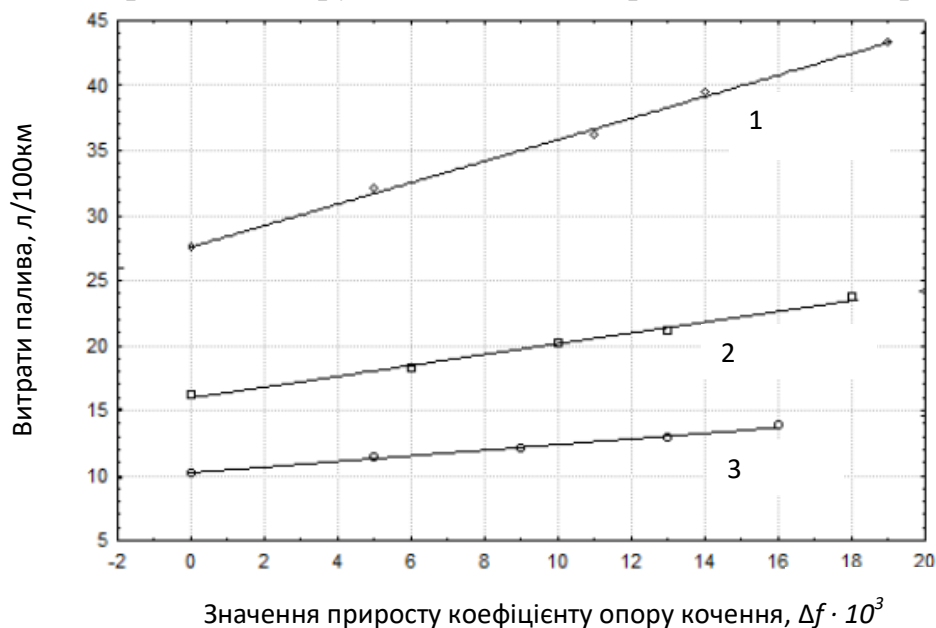


Рисунок 2 – Залежність витрати палива автомобілів в спорядженому стані від показника приросту коефіцієнта опору кочення: 1 – КамАЗ 6520-19, 2 – КамАЗ-43255, ГАЗ -3302

Кут нахилу прямих на графіку по відношенню до осі x відображає пристосованість автомобілів до зміни дорожнього покриття. Чим більше кут нахилу прямої, тим гірше пристосованість автомобіля. Як видно з рис. 2.3, найбільшою пристосованістю до зміни стану дорожнього покриття по витраті палива має автомобіль ГАЗ-3302, а найменшою КамАЗ-6520-19, що в основному пояснюється їх різними масами в спорядженому стані і типом приводу трансмісії. Значення витрати палива при $\Delta f=0$ є оптимальним значенням витрати палива в стандартних умовах. Аналіз експериментальних даних дозволив підтвердити гіпотезу про вигляд і математичної моделі пристосованості, що описує спільний вплив показника приросту коефіцієнта опору коченню і коефіцієнта використання вантажопідйомності на витрату палива автомобілів. Параметри математичних моделей і значення статистичних характеристик, що використовувалися при аналізі, для досліджуваних автомобілів наведено в табл. 4 і 5.

Таблиця 4 – Параметри математичної моделі витрати палива

Параметри	Чисельні значення параметрів математичної моделі для автомобілів		
	ГАЗ-3302	КамАЗ-43255	КамАЗ-6520-19
Оптимальна витрата палива $q(V)$, л/100 км	10,20	16,20	27,50
Параметри чутливості S_f , л/100 км	0,202	0,430	0,816
Параметри чутливості S_γ , л/100 км	1,659	2,645	7,560
Параметри чутливості $S_{f\gamma}$, л/100 км	0,155	0,421	1,260

Таблиця 5 – Значення статистичних характеристик запропонованої математичної моделі

Статистичні характеристики	Чисельні значення характеристик математичної моделі для автомобілів		
	ГАЗ-3302	КамАЗ-43255	КамАЗ-6520-19
Коефіцієнт детермінації	0,96	0,98	0,98
Коефіцієнт множинної кореляції	0,98	0,99	0,99
Розрахункове значення критерію Фішера $F_{сном}$	25,62	66,08	174,94
Середня помилка апроксимації, %	2,40	2,0	1,27

Адекватність запропонованої математичної моделі перевірялася на підставі порівняння розрахованих значень критерію Фішера F з табличними, а також за величиною середньої помилки апроксимації. Проведений аналіз показав, що запропонована математична модель адекватна, отже, підтверджується гіпотеза про те, що залежність витрати палива автомобілів від показника приросту коефіцієнта опору коченню і коефіцієнта використання вантажопідйомності описується двофакторною лінійною математичною моделлю пристосованості.

Література

1. Аулин, В. В., Гриньків, А. В. Использование теоретико-информационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля. "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetic in Agriculture, CULS. 2016. Vol.18. №2. p.63-69.
2. Аулін, В. В., Гриньків, А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С.36-41.
3. Аулін, В. В., Гриньків, А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів". №5. Харків: ХНТУСГ, 2016. С. 109-116
4. Аулін, В. В., Каліч, В. М., Гриньків, А. В., Голуб, Д. В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2015. Вип. 45, ч. II. Кіровоград: КНТУ. С.28-36.
5. Аулін, В. В., Гриньків, А. В., Замота, Т. М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. Вісник інж. академії України. 2015. №3. С. 66-72.