

УДК 629.424.3

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЯ АВТОМОБІЛЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Аулін В.В., д.т.н., проф.,
Гриньків А.В., к.т.н., с.н.с.,
Гороховський С.Р., ст.,
Бобков В.Д., ст.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract

The scheme of the mechanism of formation of fuel consumption of cars with different loading depending on type and a condition of a road surface is developed. The intervals of quality of a condition of a road surface and degree of loading of the car are defined. The estimation of indicators of adaptation of the car to change of factors of operating conditions, and also parameters of sensitivity is given. A two-factor mathematical model of car fuel consumption from the rate of increase of the rolling resistance coefficient and the load capacity utilization factor is proposed.

Key words: fuel consumption, car, road surface, load degree, sensitivity parameter, fitness factor, mathematical model.

Вступ

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. Вперше про пристосованість як об'єктивній властивості стосовно автомобілів згадується в роботі Д. П. Веліканова. Надалі різними вченими були розроблені та розширені основні положення теорії пристосованості, які і лягли в основу даної роботи. Пояснюється це тим, що в попередніх дослідженнях питання пристосованості автомобілів до дорожніх умов експлуатації по витраті палива вивчені недостатньо, що свідчить про необхідності проведення додаткових досліджень у цій області, які дозволили б встановити закономірності зміни показників паливної економічності автомобілів на дорогах IV–V категорії з урахуванням типу і стану дорожнього покриття, ступеня завантаження транспортного засобу і рівня пристосованості транспортних засобів до цих чинників. Підвищення ефективності використання автомобілів за рахунок об'єктивного нормування витрат палива на основі виявлення закономірностей зміни показників паливної економічності автотранспортних засобів залежно від типу і стану дорожнього покриття. Об'єктом дослідження є процес зміни витрати палива в залежності від типу і стану дорожнього покриття, а предметом дослідження — процес стосовно ряду автомобілів конкретних марок і моделей. Методологічною основою дослідження є теорія автомобілів, теорія двигунів, просторово-тимчасова концепція формування показників якості і ефективності транспортних засобів, теорія ймовірності, математична статистика. Основні наукові принципи роботи: механізм формування витрат палива автомобілі в залежності 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.

Аналіз попередніх досліджень

Аналіз раніше виконаних досліджень, присвячені визначення залежностей зміни показників паливної економічності автомобілів в різних

дорожніх умовах. Даному питанню було присвячено велику кількість робіт, які виконувалися в різних наукових та навчальних закладах України та інших країн. В процесі аналізу цих робіт були зроблені наступні висновки. Дорожні умови експлуатації автомобілів включають в себе безліч факторів, що характеризуються різними показниками, однак одними з найбільш важливих з них з точки зору впливу на витрату палива автомобілів є тип і стан дорожнього покриття (Н. Я. Говорущенко, М. С. Висоцький), які можна охарактеризувати коефіцієнтом дорожнього опору або в окремих випадках коефіцієнтом опору коченню.

У той же час до цих пір не розроблено однакової методики, яка б дозволяла визначити значення коефіцієнта опору коченню на дорогах з покриттями різного типу. Частково це пов'язано з значним різноманіттям матеріалів, що використовуються при будівництві доріг I–V категорій. Кожен з цих матеріалів володіє своїми певними властивостями, які так чи інакше необхідно враховувати при розрахунку величини коефіцієнта опору коченню.

Тому на практиці найчастіше використовують середні значення коефіцієнта опору коченню, отримані дослідним шляхом при випробуваннях різних шин автомобілів на дорогах з різним покриттям. Крім цього досі немає такого показника, який би дозволив об'єктивно оцінити ступінь відмінності фактичних дорожніх умов експлуатації від стандартних, яку прийнято характеризувати показниками суворості, дозволяють порівнювати між собою фактори умов експлуатації, мають різну розмірність.

Багато вчених відзначають, що між витратою палива і коефіцієнтом опору кочення існує лінійна залежність. Залежність витрати палива від ступеня завантаження транспортного засобу також можна описати лінійною моделлю. В той же час процес зміни витрати палива автомобілів при одночасній зміні стану дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу залишається маловивченим, тоді як виявлення залежності такого роду є необхідною умовою для об'єктивного нормування витрат палива.

Постановка проблеми

Існуючі в даний час методики визначення витрати палива автомобілів не враховують рівень пристосованості автомобілів до зміни типу і стану дорожнього покриття, в той час як численні дослідження показали, що автотранспортні засоби, як правило, володіють різною пристосованістю до факторів умов експлуатації.

Відсутність показника пристосованості автомобілів до зміни стану дорожнього покриття є одним з перешкод на шляху до об'єктивного нормування витрат палива при експлуатації автомобілів на дорогах IV–V категорій, що в свою чергу негативно впливає на ефективність використання автомобільного транспорту.

Як правило, для визначення показників пристосованості можна використовувати як експериментальні, так і аналітичні методи, причому

останні є більш переважними, оскільки відпадає необхідність в проведенні дорогих і тривалих експериментах.

Мета та завдання

Метою даної роботи є вдосконалення ефективності обслуговування паливної апаратури дизеля автомобіля під час його експлуатації.

Для реалізації мети роботи розв'язувались наступні завдання:

1. Аналітичні дослідження паливної пристосованості автомобіля.
2. Розробка методики диференціального коригування норм витрат палива.

Результати вирішення основних завдань

На першому етапі була розроблена загальна методика, яка об'єднує в собі аналітичні дослідження. 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 представленої блок-схеми, 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 витрат палива автомобіля пояснюється відхиленням умов експлуатації від стандартних значень, причому ступінь цього збільшення залежить від рівня пристосованості транспортного засобу.

Представлену 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).



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

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 урахування 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. 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:

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

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 суворості: помірний, помірно-суровий, суровий і дуже суровий табл. 1.

Таблиця 1 Інтервали якості стану дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу

Найменування інтервалу	Діапазон вимірювань значення показника Δf	Діапазон вимірювань значень індексу h_f, R	Діапазон вимірювань значень показника γ	Діапазон вимірювань значень індексу 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 запропоновано 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:

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

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:

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

За своїм фізичним змістом параметр чутливості S_{fy} 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 та K_{fy} . 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 та 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; $q_\phi, q_{\phi n}$ – 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.

На основі аналізу виконаних досліджень висунута робоча гіпотеза про те, що залежність витрат палива автомобіля від показника приросту коефіцієнта опору коченню і коефіцієнта використання вантажопідйомності описується двофакторною математичною моделлю пристосованості:

$$q = q(V) + S_f \cdot \Delta f \cdot 10^3 + S_\gamma \cdot \gamma + S_{fy} \cdot \Delta f \cdot \gamma \cdot 10^3 \quad (11)$$

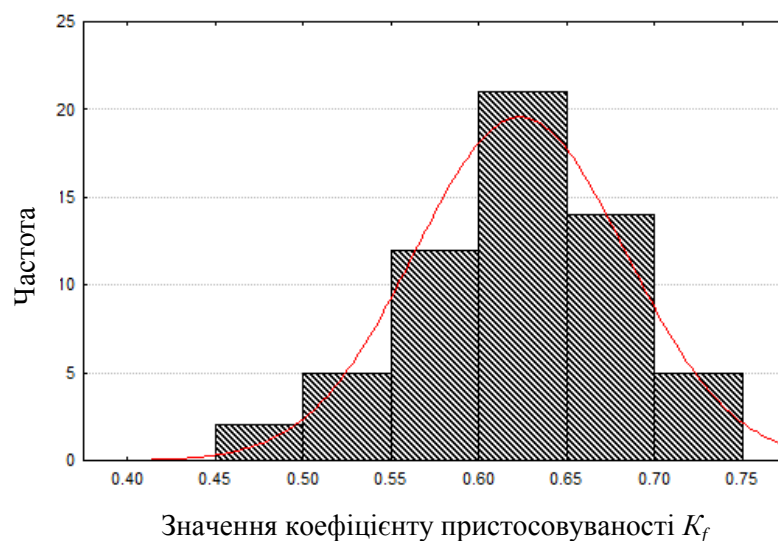
де $q(v)$ – оптимальна витрата палива автомобіля в спорядженому стані в стандартних умовах, що представляє собою функцію від швидкості руху, л/100км.

Розглядалися також питання, що стосуються проведення експериментальних досліджень. Зокрема, був розроблений план експерименту, який включає в себе опис обладнання і контрольовано-вимірювальних приладів, необхідних для проведення випробувань, описані стандартні умови проведення

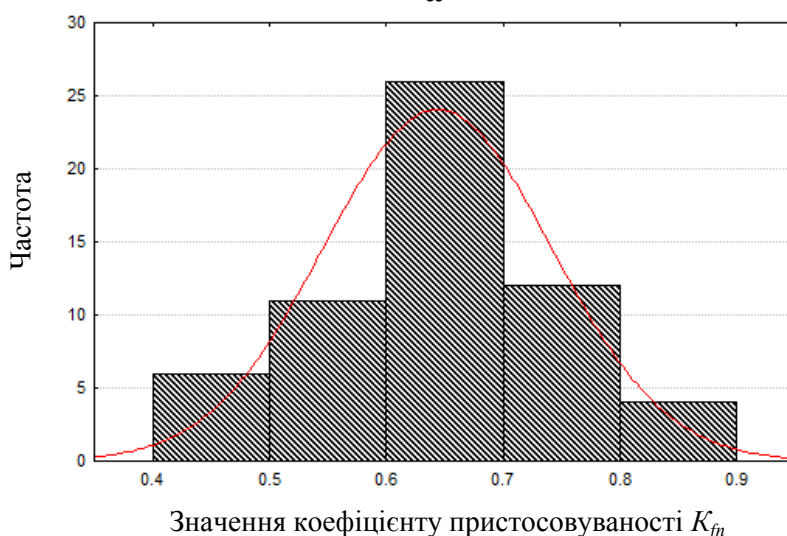
випробувань та методика проведення експериментальних досліджень, порядок визначення похибок результатів вимірювань, а також методика оцінки адекватності запропонованих моделей. Експериментальні дослідження проводилися у відповідності з вимогами ДСТУ. Винятком були вимірювальні дорожні ділянки і завантаження транспортного засобу.

У ході проведення експерименту вибиралися дорожні ділянки з покриттями різного типу, завантаження транспортних засобів змінювалася у всьому діапазоні вантажопідйомності рухомого складу. Випробування проводилися методом активного експерименту, мінімальне необхідна кількість повторних вимірів визначалася виходячи з рівня довірчої ймовірності $\alpha = 0,85$, що відповідає вимогам, до інженерних експериментів, що не впливають на безпеку дорожнього руху. Виміри витрати палива досліджуваних автомобілів КамАЗ 43255 і КамАЗ-6520-19 проводилися за допомогою штатних датчиків транспортних засобів, показання яких зчитувалися з електронного блоку управління з діагностичним інтерфейсом за допомогою спеціалізованих адаптерів і спеціального діагностичного програмного забезпечення. Обробка експериментальних даних та їх подальший аналіз проводився за допомогою пакетів прикладних програм на ПК.

За результатами аналітичних досліджень були визначені чисельні значення параметрів чутливості S_f , S_γ і $S_{f\gamma}$ для автомобілів різних марок і моделей з використанням інформації, представленої в нормативно-технічній документації. У процесі аналізу розрахованих значень параметрів чутливості S_f , S_γ і $S_{f\gamma}$ була визначена необхідність диференційованого коригування норм витрат палива при експлуатації автомобілів на дорогах IV-V категорій. Отримані значення параметрів чутливості для автомобілів різних марок і моделей відрізняються в кілька разів: значення параметра чутливості S_f при рівні довірчої ймовірності $\alpha = 0,95$ змінюються в діапазоні від 0,130 до 1,134 л/100 км; значення параметра чутливості S_γ при тому ж рівні довірчої ймовірності змінюються в межах від 0 до 11,576 л/100 км; значення параметра чутливості $S_{f\gamma}$ змінюються в діапазоні від 0 до 1,796л/100 км при рівні довірчої ймовірності $\alpha = 0,95$. Далі були розраховані чисельні значення коефіцієнтів пристосованості K_f і $K_{f\gamma}$ для автомобілів різних марок і моделей. Щільність розподілу значень коефіцієнтів пристосованості K_f і $K_{f\gamma}$ представлена на рис. 2. Як видно з рис. 2, щільність розподілу значень коефіцієнтів пристосованості K_f і $K_{f\gamma}$ відповідає нормальному закону розподілу, при цьому середнє значення коефіцієнта пристосованості $K_f = 0,63$, а середнє значення коефіцієнта пристосованості $K_{f\gamma} = 0,64$. При рівні довірчої ймовірності $\alpha = 0,997$ значення коефіцієнта пристосованості K_f змінюються в діапазоні від 0,44 до 0,80, при тому ж рівні довірчої ймовірності значення коефіцієнта пристосованості $K_{f\gamma}$ змінюються в діапазоні від 0,35 до 0,93.



а



б

Рисунок 2 Щільність розподілу значень коефіцієнтів пристосовуваності K_f і K_{fm} : а – критерій Колмогорова-Смирнова $d=0,09$; Критерій Шапиро-Уилка $W=0,96$; б – критерій Колмогорова-Смирнова $d=0,06$; Критерій Шапиро-Уилка $W=0,97$

У відповідності з виконаними дослідженнями діапазони значень коефіцієнтів пристосованості K_f і K_{fm} 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	0,50	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_{fj}	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.3.

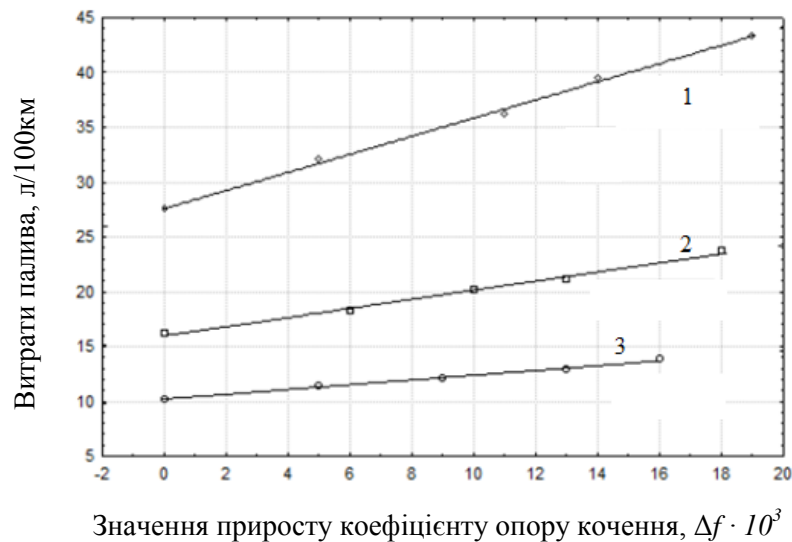


Рисунок 3 Залежність витрати палива автомобілів в спорядженому стані від показника приросту коефіцієнта опору кочення: 1 – КамАЗ 6520-19, 2 – КамАЗ – 43255, 3 – ГАЗ -3302

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

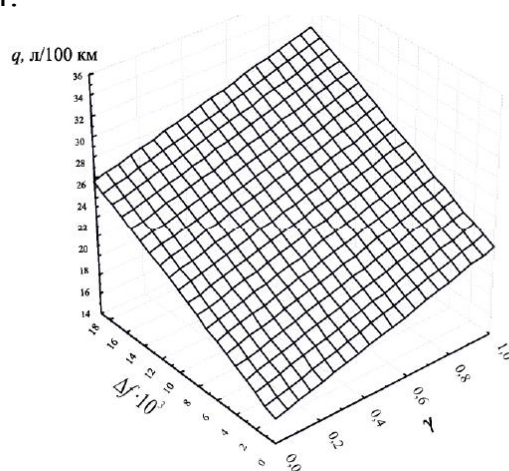
Параметри	Чисельні значення параметрів математичної моделі для автомобілів		
	ГАЗ-3302	КамАЗ-43255	КамАЗ-6520-19
Оптимальна витрата палива $q(v)$, л/100 км	10,20	16,20	27,50
Параметри чутливості S_f , л/100 км	0,202	0,430	0,816
Параметри чутливості S_γ , л/100 км	1,659	2,645	7,560
Параметри чутливості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

Графік спільного впливу збільшення коефіцієнта опору коченню і коефіцієнта використання вантажопідйомності на витрату палива автомобілів представлений на рис. 4.

Рисунок 4 Залежність витрати палива автомобіля КамАЗ-43255 від показника приросту коефіцієнта опору кочення Δf та коефіцієнту використання вантажопідйомності γ

З представленою графіка видно, що витрата палива автомобіля залежить від величин приросту коефіцієнта опору коченню і коефіцієнта використання вантажопідйомності, причому їх одночасна зміна викликає більш інтенсивне збільшення витрати палива.

На базі проведених досліджень в роботі запропонована методика диференційованого коригування норм витрат палива. Вона включає в себе порядок визначення рівня пристосованості автомобілів до зміни дорожнього покриття, розрахунок експлуатаційних норм витрат палива при експлуатації автомобілів на горизонтальних ділянках доріг IV-V категорії, а також середні значення диференційованих поправочних коефіцієнтів до базової і транспортної норм витрати палива.

Значення диференційованих поправочних коефіцієнтів до базової і транспортної норм витрати палива визначалися за формулами:

$$D = \frac{Q - H_s}{H_s} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$D = \frac{Q - (H_s + H_w \cdot W)}{H_s + H_w \cdot W} \cdot 100\% \quad (13)$$

де Q – фактична витрата палива, л/100 км; H_s – базова норма витрати палива на пробіг автомобіля в спорядженому стані, л/100 км; H_w – норма витрати палива на транспортну роботу, л/100ткм; W – обсяг виконаної транспортної роботи, т-км.

По представленим формулами були розраховані середні значення поправочних коефіцієнтів до базової і транспортної норм витрати палива, які представлені в табл. 6 і 7.

Таблиця 6 Значення поправочних коефіцієнтів для базової витрати палива

Рівень пристосованості	Значення поправочного коефіцієнта за інтервалами суворості стану дорожнього покриття, %			
	Помірний	Помірно-суворий	Суворий	Дуже суворий
Низький	12	37	61	79
Середній	7	22	36	47
Високий	4	13	22	28

Таблиця 7 Значення поправочних коефіцієнтів для транспортної норми витрати палива

Інтервал суворості по степені завантаження ТЗ	Значення поправочного коефіцієнта за інтервалами суворості стану дорожнього покриття, %			
	Помірний	Помірно-суворий	Суворий	Дуже суворий
Помірний	13	40	67	86
Помірно-суворий	16	50	83	107
Суворий	19	59	97	126
Дуже суворий	21	66	110	143

Економічний ефект від впровадження результатів дослідження визначався за формулою:

$$E = \frac{N_a \cdot C_m \cdot Q_m}{10^4} \cdot \sum_{i=1}^n [N_{dni} \cdot l_{cci} \cdot (D_n - D_{diff})] \quad (14)$$

де N_a – обліковий склад автомобілів в парку, од.; C_m – ціна одного літра палива, грн; Q_m – норма витрати палива, л/100 км; N_{dni} – кількість робочих днів у розрахунковому місяці, дн.; l_{cci} – середньодобовий пробіг автомобіля в розрахунковому місяці, км; D_n – поправочний коефіцієнт до норми витрати палива, встановлений методичними рекомендаціями або на підприємстві, %; D_{diff} – диференційований поправочний коефіцієнт до норми витрати палива, %.

Впровадження результатів дослідження дало економічний ефект в розмірі від 86 до 147 грн./авт.день (в цінах на дизельне паливо за 2019 р.) для автомобілів з низьким рівнем пристосованості в помірно-суворому інтервалі умов експлуатації. Економічний ефект утвориться за рахунок об'єктивного нормування витрат палива, яке дає можливість виявити нецільове витрачання ПММ, викликане незадовільним технічним станом транспортних засобів, некваліфікованим водінням або розкраданням палива.

Висновки

1. Вирішене завдання підвищення ефективності використання автомобілів на дорогах IV-V категорій за рахунок об'єктивного нормування витрат палива на основі виявлення закономірностей зміни показників паливної економічності автотранспортних засобів з різним ступенем завантаження в залежності від типу і стану дорожнього покриття.

2. Розкритий механізм формування витрат палива автомобілів з різним ступенем завантаження на дорогах IV-V категорії на основі просторово-часової концепції, враховує відхилення умов експлуатації від стандартних значень і рівень пристосованості автомобілів до них.

3. Розроблений показник стану дорожнього покриття, приведений до універсальної 12-бальною шкалою суворості, яка дозволяє враховувати і порівнювати між собою різні за своєю природою фактори. Значення індексу h_f змінюються в діапазоні від 0 до 12 R , де R – універсальна безрозмірна одиниця суворості. Також розроблено показник ступеня завантаження транспортного засобу h_y , значення якого змінюються в діапазоні від 0 до 12 R , що відповідає зміні коефіцієнта використання вантажопідйомності в діапазоні від 0 до 1,4. Розроблені параметри чутливості автомобілів до зміни стану дорожнього покриття, до зміни ступеня завантаження транспортного засобу і до сукупного зміни стану дорожнього покриття і ступеня завантаження транспортного засобу. Значна варіація значень отриманих параметрів чутливості свідчить про необхідність диференційованого коригування норм витрат палива.

Література

1. Hahanov V.I., Guz O.A., Ziarmand A.N., Ngene Christopher Umerah, Arefjev A. Cloud Traffic Control System. Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. 2013. P.72-76.
2. Hahanov V., Gharibi W., Baghdadi Ammar Awni Abbas, Chumachenko S., Guz O., Litvinova E. Cloud traffic monitoring and control. Proceedings of the IEEE:

2013: 7th International conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS). 2013. P. 244-248.

3. Кудрявцева А. С. Киберфизическая система как развитие автоматизации на всех этапах жизненного цикла деятельности предприятия на основе внедрения цифровых технологий. Системный анализ в проектировании и управлении. 2019. № 1. С. 312-320.

4. Pandit A.A., Talreja J., Mundra A.K. RFID Tracking System for Vehicles (RTSV). First International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. 2009. P.160-165.

5. Jiang Lin-ying, Wang Shuai, Zhang Heng, Tan Han-qing. Improved Design of Vehicle Management System Based on RFID. Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA):International Conference 2010. Vol. 1. P. 844-847.

6. Аулін В.В., Панков А.А., Гриньків А.В., Герук С.Н., Єрмак В.П., Щеглов А.В. Синтез модульних транспортно-технологічних машин на основі агрегатної уніфікації. Технічне забезпечення інноваційних технологій в сільському господарстві : Міжнарод. науч.-практ. конф., 26-27 листопада 2020 г., г. Мінськ . - Мінськ : БГАТУ, 2020. - С. 221-224.

7. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко О.В. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport systems №22' 2020. С. 162-174.

8. Аулін В.В., Гриньків А.В. Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability", 15-17 квітня 2020 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – С.168-169.

9. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Замота Т.Н., Крупіца О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

10. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.

11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Ізюмський О.В., Ізюмський В.А., Брюховецький О.М., Кузик О.В., Лукашук А.П. Система змащення турбокомпресора двигуна внутрішнього згоряння. Пат. 138278 Україна, МПК (2006) F01N 1/00 №u201904683; Заявл. 02.05.2019; Опубл. 25.11.2019; Бюл.№ 22, 25.11.2019 р.

12. Aulin V., Zamota T., Hryniv A., Lysenko S., Chernovol M., Chernai A. Features of electrochemical-mechanical running-in of chrome-plated piston rings to the cast-iron surface of the cylinder liner under different friction modes. Проблеми

трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 24 (3/93) (2019) – С.85-91.

13. Аулін В.В., Гриньків А.В. Методи виявлення та діагностики несправностей систем та агрегатів машин. Матеріали 1ої Міжнародної науково-практичної конференції “Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability”, 17-19 квітня 2019 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – С.188-190.

14. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Караїчев А.А., Кіріченко Є.О. Пути улучшения современной системы диагностирования автомобилей. Матеріали 1ої Міжнародної науково-практичної конференції “Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability”, 17-19 квітня 2019 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – С.218-223.

15. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин. Матеріали 1ої Міжнародної науково-практичної конференції “Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability”, 17-19 квітня 2019 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – С.7-8.

16. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Вплив надійності сільськогосподарської та транспортної техніки на оптимальний термін її служби. Зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" 21-22 лют. 2019 р., м. Київ / НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. – С. 83-86.

17. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.17-20.

18. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Техно-экономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. Вісник інж. академії України. – 2017. – №4. – С.50-56.

19. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.

20. Аулін В.В., Голуб Д.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Дьяченко В.О., Замуренко А.С. Теоретичний підхід до оцінки ймовірностей безвідмовної роботи транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань на основі їх логічних структурних схем надійності. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.290-304.