

I. А. Мармут<sup>1</sup>  
А. А. Кашканов<sup>2</sup>  
В. А. Кашканов<sup>2</sup>  
О. С. Горбенко<sup>1</sup>

## РОЗРОБКА НОРМАТИВІВ ВИТРАТ ПАЛИВА ДЛЯ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

Основною економного витрачання паливно-енергетичних ресурсів є наявність нормативної бази, що об'єктивно відображає умови експлуатації рухомого складу автотранспорту. Чинні норми зазвичай встановлюються за середньостатистичними показниками роботи автомобілів та не враховують специфічних особливостей роботи рухомого складу. У статті розглянуті питання паливної економічності міських автобусів з урахуванням реальних умов експлуатації.

Найбільш повно вивчені питання оцінки якостей автомобілів на усталених режимах. Однак якісний вплив факторів для цих режимів на дорогах із горизонтальним профілем може суттєво відрізнитись у реальних умовах експлуатації. Саме тому проблема вивчення паливної економічності автомобілів при неусталених та циклічних режимах руху є актуальною. Найбільш складними є циклічні режими руху із зупинками, що містять практично всі фази руху, які трапляються в експлуатації міських автобусів, а також всі передачі коробки передач, які використовуються при цьому.

Для вирішення питань раціонального використання палива на автомобільному транспорті велике значення має вдосконалення методів розрахунку показників паливної економічності автомобілів з метою повнішого та більш точного врахування особливостей процесу їх руху в різних умовах експлуатації. Під час розробки норм витрати палива застосовувався аналітичний метод, який базується на суворій математичній моделі витрати палива дизельних автомобілів. Методика побудована з урахуванням єдиної класифікації умов експлуатації, у якій дорожні та транспортні умови кількісно оцінюються середньою технічною швидкістю, а атмосферно-кліматичні – тиском та температурою навколишнього повітря.

Для аналізу, вибору та обґрунтування факторів (параметрів) для включення в математичні моделі витрати палива автобусів, з урахуванням умов експлуатації, було застосовано рівняння витрати палива, запропоноване проф. М. Я Говорущенко для усталеного руху.

Важливою перевагою розробленої методики є можливість індивідуального нормування витрати палива на підприємствах автомобільного транспорту за допомогою нескладної обчислювальної техніки за фактичними швидкостями руху автомобілів та добовою температурою повітря.

**Ключові слова:** міський автобус, витрата палива, математична модель, середня технічна швидкість.

### Вступ

Питаннями дослідження паливної економічності та тягово-швидкісних властивостей автомобілів, підвищенню цих якостей та методам їх визначення в експлуатації приділяється велика увага різними дослідниками [1-4].

Роботи, присвячені дослідженням паливної економічності автомобілів, з урахуванням режимів руху та кінцевих результатів, можна розподілити за такими напрямками: дослідження при усталених, неусталених та циклічних режимах руху; розробка методів оцінки паливної економічності автомобілів; дослідження впливу різних факторів на експлуатаційні якості автомобілів; підвищення паливної економічності автомобілів.

Найбільш повно вивчені питання оцінки аналізованих якостей автомобілів на усталених режимах. Однак якісний вплив факторів для цих режимів на дорогах із горизонтальним профілем може суттєво відрізнитись у реальних умовах експлуатації. Саме тому проблема вивчення паливної економічності автомобілів при неусталених та циклічних режимах руху з кожним роком залучає все більше дослідників. Найбільш складними є циклічні режими руху із зупинками, що охоплюють практично всі фази руху, які трапляються в експлуатації, а також всі передачі коробки передач, які використовуються при цьому.

З урахуванням цієї специфіки фактори, що впливають на витрату палива, можуть бути розбиті на три групи:

- група постійних факторів – вид виконуваної роботи, організація виконання робіт, погодні умови, кваліфікація водія, технічний стан автомобіля, якість паливно-мастильних матеріалів тощо;
- група факторів, що враховуються – ті самі фактори, якщо вони піддаються кількісному або якісному обліку і мають значні відхилення у відповідні періоди;
- група неврахованих факторів – фактори, які можуть мати випадкові значення (випадкові коливання режимів навантаження, опори руху автомобіля, кліматичні умови тощо).

Питома витрата палива визначається насамперед трьома техніко-експлуатаційними показниками: коефіцієнтами використання пробігу, вантажопідйомності (пасажиромісткості) та вантажопідйомністю (пасажиромісткістю) транспортного засобу.

Найбільш поширеними показниками використання палива на автомобільному транспорті є: лінійні норми на 100 км пробігу, енергоємність перевезень, питомі витрати на одиницю транспортної роботи [5–9, 11].

Лінійні норми повинні враховувати кількість перевезеного вантажу (пасажирів). Енергоємність перевезень автобусом характеризує кількість енергії чи палива, які потрібно витратити для виконання одиниці роботи, наприклад, на 100 пас.-км (одиниця її виміру – ккал/100 пас.-км). Цей показник застосовують нечасто, оскільки його не можна зіставити з іншими одиницями виміру палива (л, кг тощо).

Для вирішення питань раціонального використання палива на автомобільному транспорті велике значення має вдосконалення методів розрахунку показників паливної економічності автомобілів з метою повнішого та більш точного врахування особливостей процесу їх руху в різних умовах експлуатації.

При розробці норм витрати палива застосовуються переважно три методи: аналітичний, статистичний та експериментальний [1].

Найбільш досконалий та поширений метод – аналітичний. Норми витрати палива при цьому визначаються на основі аналізу щодо його складових. Цей метод забезпечує необхідну оперативність розробки й автономність планування витрати палива на різних рівнях. Точність розрахунків залежить від досконалості моделі витрати палива. Статистичний метод базується на статистичних даних та застосовується здебільшого під час розробки групових норм витрати палива. Складність його застосування полягає у необхідності використання великої кількості факторів, що змінюються у широкому діапазоні. Експериментальний метод дає можливість розробляти норми, що відповідають конкретним моделям автомобілів та умовам їх експлуатації. Однак він має обмежене застосування, адже в ньому відсутня кількісна оцінка умов експлуатації, що змушує визначати витрату палива дослідним шляхом практично для кожного маршруту та кожної моделі автомобіля.

Проф. М. Я. Говорущенко запропонував аналітичний метод нормування витрати палива, який принципово відрізняється від наявних тим, що він базується на суворій математичній моделі витрат палива бензинових та дизельних автомобілів. Методика побудована з урахуванням розробленої єдиної класифікації умов експлуатації, у якій дорожні та транспортні умови кількісно оцінюються середньою технічною швидкістю, а атмосферно-кліматичні – тиском та температурою навколишнього повітря [1].

Важливою перевагою розробленої методики є можливість індивідуального нормування витрати палива на підприємствах автомобільного транспорту (ПАТ) за допомогою нескладної обчислювальної техніки за фактичними швидкостями руху автомобілів та добової температури повітря.

*Мета дослідження.* Розробити нормативи витрат палива для міських автобусів та рекомендації щодо ефективності їх використання з урахуванням реальних умов експлуатації.

## Результати дослідження

### ***1. Математична модель витрат палива для міських автобусів***

Систему автомобіль-водій, її входи і виходи можна розглядати як взаємопов'язані об'єкти залежно від того, яке вирішується завдання (аналіз, синтез, вимір), розглядаються ті чи інші змінні. Під час аналізу (наприклад, витрати палива) досліджуються виходи щодо зміни змінних входу та самої системи (автомобіль-водій).

До вхідних змінних (зовнішніх впливів) належать: дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні умови та культура експлуатації [1].

До внутрішніх змінних стану відносять: крутний момент, оберти двигуна, передавальні числа головної передачі і коробки передач, ККД трансмісії, індикаторний ККД двигуна, радіуси коліс, параметри підвіски та ін.

Вихідними параметрами (реакцією на зовнішні впливи), крім витрати палива, є швидкість (продуктивність, собівартість) автомобіля, склад відпрацьованих газів двигуна, рівень шуму,

інтенсивність відмов, витрата запчастин тощо.

Під час розробки аналітичних методів нормування витрати палива необхідно встановити функціональний зв'язок між вхідними змінними та змінними станами автомобіля.

Для подальшого аналізу, вибору та обґрунтування факторів (параметрів) для включення в математичні моделі витрати палива автобусів, з урахуванням умов експлуатації, напишемо рівняння витрати палива, запропоноване проф. М. Я. Говорушенко для усталеного руху [1]:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[ A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \left( G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2 \right) \right]. \quad (1)$$

Для складання математичної моделі для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2 приймаємо такі вихідні дані (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані по автобусу Mercedes-Benz O530/Citaro C2

Показник	Значення
Індикаторний ККД: – для спорядженого автобуса; – для автобуса з повним завантаженням	0,48; 0,51
Робочий об'єм циліндрів $V_h$ , л	14,618
Передатне число головної передачі $i_0$	3,920
Нижча теплота згоряння палива $H_H$ , кДж/кг	43 000
Густина палива $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	0,84
Радіус кочення колеса, м	0,508
Хід поршня $S_n$ , м	0,142
ККД трансмісії $\eta_{mp}$ : – для спорядженого автобуса; – для автобуса з повним завантаженням	0,79 0,88
Вага автобуса, Н: – спорядженого; – з повним завантаженням	119 584 171 675
Фактор обтічності $kF$ , Н·с <sup>2</sup> ·м <sup>2</sup>	2,95

Індикаторний ККД двигуна  $\eta_i$  в теорії двигунів визначається досить складно. Формула  $\eta_i$  у загальному вигляді записується так [1]:

$$\eta_i = \frac{R \cdot P_i \cdot L_0 \cdot T}{H_H \cdot \eta_v \cdot P} \cdot \alpha,$$

де  $R$  – універсальна газова стала, яка дорівнює 8,31 Дж/(моль·К);  $P_i$  – середній індикаторний тиск, що визначається за експериментальною індикаторною діаграмою, МПа;  $L_0$  – стехіометрична кількість повітря в суміші на 1 кг палива, кмоль;  $T$  – температура навколишнього середовища, К;  $H_H$  – нижча питома теплота згоряння палива, кДж/кг;  $\eta_v$  – коефіцієнт наповнення;  $P$  – тиск навколишнього середовища, МПа;  $\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря, який визначається співвідношенням дійсної кількості повітря  $L$  до стехіометричної  $L_0$ .

Індикаторний тиск  $P_i$  розраховується за формулою [10]

$$P_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{K_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K_1 - 1}} \right) \right],$$

де  $P_c = P_a \cdot \varepsilon^{K_1} = 0,9 \cdot P_0 \cdot \varepsilon^{K_1}$  – тиск газів у циліндрі в кінці процесу стиснення ( $P_a$  – тиск на початку стиснення;  $P_0 = 0,1013$  МПа – тиск навколишнього середовища за нормальних умов);  $\varepsilon$  – ступінь стиснення;  $\lambda$  – ступінь підвищення тиску в циліндрі;  $n_2$  – показник політропи;  $K_1$  – середній показник адіабати у процесі стиснення.

Ступінь підвищення тиску  $\lambda$  визначається ставленням тиску газів у циліндрі в кінці згоряння  $P_{zp}$

до тиску газів наприкінці процесу стиснення  $P_c$ . Використовуємо низку залежностей різних величин із теорії двигуна, щоб отримати загальну формулу для розрахунку  $\lambda$  [10]:

$$P_{zp} = \mu \cdot P_c \cdot \frac{T_z}{T_c}; \quad \mu = \frac{\mu_0 + \gamma}{1 + \gamma}; \quad \gamma = \xi_{оч} \cdot \frac{T_0 + \Delta T}{\xi_{c.3} \cdot T_c} \cdot \frac{P_z}{\varepsilon \cdot P_a - \xi \cdot \xi_{оч} \cdot P_z},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт молекулярної зміни робочої суміші газів;  $T_z$  – максимальна температура циклу, К;  $T_c$  – температура в кінці стиснення, К;  $\mu_0$  – коефіцієнт молекулярної зміни свіжої суміші, що визначається ставленням загальної кількості продуктів неповного згоряння до кількості свіжої суміші на 1 кг палива;  $\gamma$  – коефіцієнт залишкових газів;  $\xi_{оч}$  – коефіцієнт очищення циліндрів двигуна;  $T_0$  – температура навколишнього середовища за нормальних умов (293 К);  $\Delta T$  – підігрів свіжого заряду від стінок циліндрів, К;  $\xi_{c.3}$  – коефіцієнт, що враховує зміну кількості кмоль свіжого заряду за період дозарядки;  $T_c$  – температура залишкових газів, К;  $P_z$  – тиск залишкових газів ( $P_z = 1,1 \cdot P_0$ ), МПа;  $\xi$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення теплоємностей продуктів згоряння та робочої суміші при постійному тиску.

Після підстановки отримуємо вираз для розрахунку ступеня підвищення тиску в циліндрі:

$$\lambda = \frac{\left[ \mu_0 + \frac{\xi_{оч} (T_0 + \Delta T)}{\xi_{c.3} \cdot T_c (0,82\varepsilon - \xi \cdot \xi_{оч})} \right] \cdot T_z}{\left\{ T_0 + \Delta T + \xi_{c.3} \cdot \xi \left[ \frac{\xi_{оч} (T_0 + \Delta T)}{\xi_{c.3} (0,82\varepsilon - \xi \cdot \xi_{оч})} \right] \right\}^{\varepsilon^{K_1-1}}}. \quad (2)$$

Стехіометрична кількість повітря, кмоль, визначається за формулою [10]:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right).$$

Для 1 кг палива середнього складу  $C = 0,885$  кг,  $H = 0,145$  кг, тому  $L_0 = 0,5119$  кмоль. Коефіцієнт наповнення [10]:  $\eta_v = \xi \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \left( 1 - \frac{\xi P_z}{\varepsilon \cdot P_a} \right)$ .

Після підстановки наведених вище формул отримуємо:

$$\eta_v = \frac{0,9 \cdot \xi_{c.3} \cdot \varepsilon \cdot T_0}{(\varepsilon - 1)(T_0 + \Delta T)} \left( 1 - 1,222 \frac{\xi}{\varepsilon} \right). \quad (3)$$

Для спрощення визначення значень індикаторного ККД використовуємо дослідні дані окремих величин [10]:  $n_2 = 1,24$ ;  $T_c = 900$  К;  $\xi_{оч} = 1$ ;  $\xi_{c.3} = 1$ ;  $\xi = 1$ ;  $T_z = 2597,8$  К;  $\Delta T = 10$  К;  $K_1 = 1,36$ .

Унаслідок розрахунків для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2 (при  $\varepsilon = 9$  і  $\mu_0 = 1,0985$  отримуємо:

$$\eta_i = 0,36\alpha. \quad (4)$$

Аналогічні розрахунки для інших автомобілів, зокрема легкових, показали можливість використання отриманого рівняння для практичних розрахунків.

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2 (дизельний двигун) визначаємо за формулами [1]:

$$A_d = \frac{381 \cdot V_h \cdot i_0}{H_H \cdot \rho_n \cdot r_k}; \quad B_d = \frac{11 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_H \cdot \rho_n \cdot r_k^2}; \quad C_d = \frac{100}{H_H \cdot \rho_n \cdot \eta_{mp}},$$

де  $V_h$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;  $i_0$  – передавальне число головної передачі;  $H_H$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;  $\rho_n$  – густина палива, кг/м<sup>3</sup>;  $r_k$  – радіус колеса, м;  $S_n$  – хід поршня, м;  $\eta_{mp}$  – ККД трансмісії.

Математичні моделі витрат палива для автобуса при змінних значеннях передавальних чисел

коробки передач  $i_k$ , швидкості руху  $V_a$ , сумарних дорожніх опорів  $\psi$  при спорядженій масі  $Q_C$  і повній масі  $Q_{II}$  набувають вигляду:

$$\begin{aligned} Q_C &= \left[ 1,19i_k + 0,038i_k^2 \cdot V_a + 3,5 \cdot 10^{-3} (119584\psi + 0,227V_a^2) \right] / \eta_{IC}; \\ Q_{II} &= \left[ 1,19i_k + 0,038i_k^2 \cdot V_a + 3,15 \cdot 10^{-3} (171675\psi + 0,227V_a^2) \right] / \eta_{III}. \end{aligned} \quad (5)$$

При необхідності визначення витрат палива за конкретних значень  $i_k$  їх можна виразити через середню швидкість автобуса [1]:

$$i_k = K_{III} \cdot V_{\max} \cdot i_{KII} / V_a, \quad (6)$$

де  $K_{III}$  – швидкісний коефіцієнт;  $V_{\max}$  – максимальна швидкість руху, км/год;  $i_{KII}$  – передатне число прямої (підвищеної) передачі.

$$i_k = \frac{0,522 \cdot 117 \cdot 1}{V_a}. \quad (7)$$

Значення  $\psi$  також можна виразити через  $V_a$ :

$$\psi = 0,8 / V_a. \quad (8)$$

До рівняння витрати палива (1) входить 13 параметрів, із них три є постійними для цього автомобіля ( $V_h, i_0, kF$ ) і 10 змінними. Параметри також можна розділити на керовані ( $\eta_i, i_k, r_k, V_a, G_a$ ) та некеровані. Середня швидкість руху, ККД індикаторний та трансмісії змінюються зі зміною технічного стану автомобіля.

Деякі параметри мають незначний вплив на витрату палива і надалі під час експлуатаційних розрахунків ними можна знехтувати. Дослідження ХНАДУ показали, що за ступенем важливості (впливу на витрату палива) всі параметри можна розташувати так:  $\psi, \eta_i, i_k, V_a, G_a, r_k$ , температура оточуючого повітря  $t$ .

Якщо прийняти  $1/\eta_i$  за постійну величину, то між витратою палива, сумарним дорожнім опором та вагою автомобіля існуватиме прямолінійна залежність виду:

$$Q = A_1 + B_1 \cdot G_a \cdot \psi, \quad (9)$$

де  $A_1 = \frac{1}{\eta_i} (A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + 0,077 \cdot C \cdot kF \cdot V_a^2)$  та  $B_1 = \frac{C}{\eta_i}$ .

Рівняння (9) показує, що витрата палива, з одного боку, зростає зі збільшенням навантаження на автомобіль, а з іншого боку, зменшується внаслідок підвищення індикаторного ККД через збільшення навантаження. Приріст витрати палива на кожен тону вантажу (пасажирів), що перевозиться на відстань 100 км, також не є постійною величиною і залежить від коефіцієнтів  $C, \psi$ , загальної ваги автомобіля  $G_a$  та швидкості руху  $V_a$ .

Між витратою палива та  $\psi$  також немає прямолінійної залежності. За рівнянням (1) зі збільшенням  $\psi$  витрата палива зростає згідно із законом прямої лінії. Водночас збільшується навантаження на двигун, що має призводити до збільшення  $\eta_i$ , отже, до зменшення витрати палива  $Q$ .

## 2. Розрахунок нормативів витрати палива для міських автобусів та рекомендації щодо ефективності його використання

Науково та технічно обґрунтовані норми витрати палива відіграють велику роль у реалізації режиму його економії. Проте основи чинної методики нормування витрати палива базуються на експериментальних даних, які недостатньо повно враховують дорожньо-транспортні умови, зміну величини пасажиропотоку на маршруті, специфіку умов експлуатації конкретного маршруту.

В основі визначення нормативів щодо витрати палива має лежати його строга математична модель з урахуванням єдиної класифікації умов роботи автобусів, у якій дорожні та транспортні умови кількісно оцінюються середньою швидкістю їхнього руху. Це зумовлено тим, що існує безпосередня залежність між швидкістю руху автомобіля, дорожньо-транспортними умовами та витратою палива.

Норми витрати палива бувають лінійними, маршрутними та груповими.

Основне завдання керування витратою палива за лінійними нормами – це дотримання нормативних

величин витрати палива на пробіг автобуса, обумовлених його технічними характеристиками та нормативними документами [11] шляхом систематичного контролю технічного стану автомобіля та підтримки його на високому технічному рівні. Цю роботу здійснює технічна служба автопідприємства.

Основною метою маршрутного нормування є максимальне наближення нормативної величини витрати палива до фактичного на конкретному маршруті. Застосування диференційованих маршрутних норм дає можливість розкрити резерви економії палива, здійснити раціональніший внутрішній перерозподіл палива за маршрутами, залежно від конкретних умов, які не враховуються в лінійних нормах.

Критерієм економного та раціонального використання автомобільного палива рухомих складом з урахуванням виконаної транспортної роботи є групова норма його витрати. Управління витратою палива за груповими нормами проводиться за двома етапами:

- вдосконалення системи нормування та планування групових норм у ПАТ;
- виконання оперативного та періодичного аналізу ефективності використання палива.

Науково обґрунтовані норми витрати палива слід встановлювати на підставі його математичної моделі (1). У документах, що діють, для автобусів затверджено лише середню норму витрати палива на 100 км пробігу. Однак, як зазначалося у п. 1, з метою вдосконалення методики нормування необхідно розраховувати основну та додаткову норму витрати палива для автобусів також.

Основні норми для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2 порожнього і повної маси необхідно розраховувати за формулою (5) з урахуванням формул (7) і (8):

$$Q_c = \left[ 1,19 \cdot \frac{61,1}{V_a} + 0,038 \cdot \frac{61,1^2}{V_a^2} \cdot V_a + 3,5 \cdot 10^{-3} \left( 119584 \cdot \frac{0,8}{V_a} + 0,227V_a^2 \right) \right] / 0,48;$$

$$Q_{\Pi} = \left[ 1,19 \cdot \frac{61,1}{V_a} + 0,038 \cdot \frac{61,1^2}{V_a^2} \cdot V_a + 3,15 \cdot 10^{-3} \left( 171675 \cdot \frac{0,8}{V_a} + 0,227V_a^2 \right) \right] / 0,51.$$

Рівняння норм витрат палива представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Рівняння норм витрати палива для автобуса Mercedes-Benz O530 / Citaro C2

Маса автобуса	
споряджена	повна
$H_{O.C} = \frac{1144}{V_a} + 0,0017V_a^2$	$H_{O.\Pi} = \frac{1269}{V_a} + 0,0014V_a^2$

Конкретні норми витрати палива цього автобуса залежно від експлуатаційних параметрів наведено у табл. 3 та на рис. 1.

Таблиця 3

Результати розрахунків норм витрати палива для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2

$V_a$ , км/год	Норма витрати палива	
	$H_{O.C}$	$H_{O.\Pi}$
20	57,88	64,01
30	39,66	43,56
40	31,32	33,96
50	27,13	28,88
60	25,19	26,19
70	24,67	24,99
80	25,18	24,82
90	26,48	25,44
100	28,44	26,69

Додаткову норму витрати палива для автобусів у літрах на 100 пас.-км можна встановити, використовуючи формулу для розрахунку додаткової витрати палива на 100 т-км для вантажних автомобілів, л/100 т-км [1]:  $H'_d = 10^5 \psi / (\eta_i \cdot H_H \cdot \rho_{\Pi} \cdot \eta_{mp})$ .

Число пасажирів, що припадають на 1 т їхньої маси, пас./т:  $P = 1000 / G_{\Pi}$ , де  $G_{\Pi} = 75$  кг – середня

маса одного пасажера, кг.

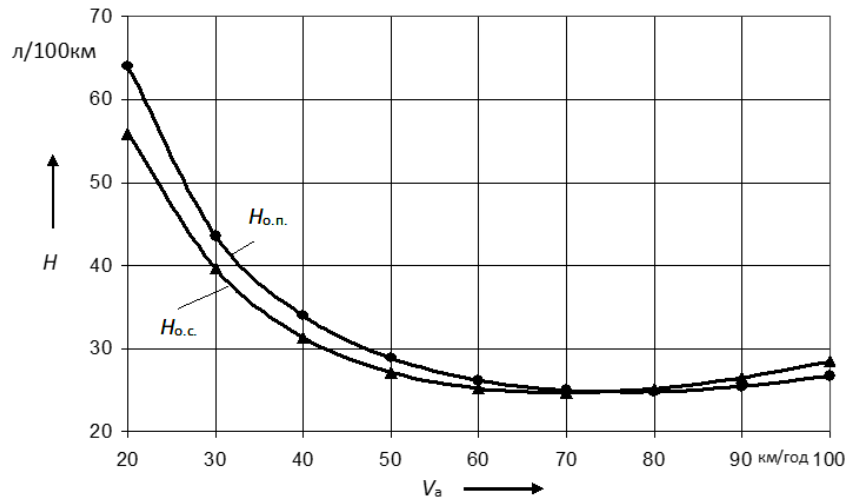


Рис. 1. Графік зміни норми витрати палива автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2 при спорядженій та повній масі залежно від швидкості руху

Додаткова норма витрати палива автобуса, л/100 пас.-км:

$$H_{д} = H'_{д} / P. \quad (10)$$

Загальна норма витрати палива з урахуванням пасажирів, що перевозяться, л/100 км:

$$H = H_{o.c} + H_{д} \cdot q_a \cdot \gamma_a \cdot \beta. \quad (11)$$

У табл. 4 наведені розрахункові дані для автобуса Mercedes-Benz O530/Citaro C2. Значення середніх швидкостей та сумарного дорожнього опору прийнято з [1] (з урахуванням класифікації умов функціонування машин, яка запропонована у ХНАДУ).

Таблиця 4

Розрахункові норми витрати палива для автобуса Mercedes-Benz O530 / Citaro C2

Категорія умов експлуатації	Розрахункові значення		$H_{o.c}$ , л/100 км	$H_{д}$ , л/100 пас.-км	Загальна норма $H$ , л/100 км
	$\psi$	$V_a$ , км/год			
1	0,013	60	25,19	0,060	27,73
2	0,017	47	28,10	0,079	31,44
3	0,021	38	32,56	0,097	36,66
4	0,025	32	37,49	0,116	42,40
5	0,031	26	45,15	0,143	51,20

Аналітичне рівняння нормування витрати палива у літрах за певний період (наприклад, за робочий день), що враховує пройдений шлях, виконану транспортну роботу, дорожні, транспортні та атмосферно-кліматичні умови експлуатації автобусів, можна представити у такому вигляді:

$$H_i = 0,01 \cdot K_t \cdot K_h (H_{oi} \cdot l_c + H_{di} \cdot W), \quad (12)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього повітря, С;  $K_h$  – коефіцієнт, що враховує висоту над рівнем моря, м;  $H_{oi}$  і  $H_{di}$  – відповідно, основна та додаткова норми витрати палива для  $i$ -ої категорії умов експлуатації (категорія визначається за середньою швидкістю руху автобуса на маршруті за аналізований період);  $l_c$  – сумарний пробіг автобуса за аналізований період, км;  $W$  – виконана транспортна робота за той же період, пас.-км.

Для управління витратою палива, визначення величин його втрат через невиконання техніко-експлуатаційних показників (ТЕП) та врахування їхнього впливу на зміну групової норми доцільно проводити як періодичний, так і оперативний аналіз. Періодичний аналіз виконується за квартал, рік, а оперативний – за місяць чи декаду. В основу запропонованої методики покладено аналіз впливу ТЕП на виконання групової норми  $H_w$ , г/пас.-км, яка для автобусів розраховується за загальноприйнятою формулою

$$H_w = 10 \cdot \rho_n (1 + D) \cdot \frac{H_0}{q_a \cdot \gamma_a \cdot \beta}, \quad (13)$$

де  $\rho_n$  – густина палива, г/см<sup>3</sup>;  $D$  – загальна надбавка, виражена у частках одиниці;  $H_0$  – середньозважена норма витрати палива за структурою парку, л/100 км.

Якщо дослідити рівняння (13) за приватними похідними, то можна визначити величину впливу кожного з ТЕП на виконання групової норми  $K$ . Цей метод дає можливість визначити чутливість групової норми через невиконання ТЕП, зміну групової норми при невиконанні ТЕП в г/пас.-км ( $\Delta H_w$ ), втрати палива через невиконання ТЕП в т ( $\Delta Q$ ).

Аналіз ефективності використання палива виконується у три етапи:

- розрахунок планових значень середньозваженої лінійної норми  $H_0$  і пасажиромісткості  $q_a$  (на початку поточного року);
- визначення фактичних величин  $H_0$  і  $q_a$ , планової та фактичної величин загальної надбавки  $D$  (за декаду, місяць, квартал, рік);
- вирішення завдань аналізу (за ті ж терміни).

Зазначені показники розраховуються за формулами  $H_0 = \sum_{i=1}^n A_{Ci} \cdot H_{0i} / \sum_{i=1}^n A_{Ci}$ , л/100 км;

$$q_a = \sum_{i=1}^n A_{Ci} \cdot q_{ai} / \sum_{i=1}^n A_{Ci}, \text{ пас.}; \quad D = \frac{H_w \cdot q_a \cdot \gamma_a \cdot \beta}{10 \cdot \rho_n \cdot H_0} - 1 \quad (\text{з рівняння (13)}).$$

Визначення чутливості групової норми від ТЕП (позначаємо коефіцієнтом  $K$  з індексом відповідного ТЕП) проводиться за такими розрахунковими формулами:

$$K_{H_0} = \frac{10 \cdot \rho_n (1 + D)}{q_a \cdot \gamma_a \cdot \beta}; \quad K_D = K_{H_0} \cdot \frac{H_0}{1 + D}; \quad K_\beta = -K_{H_0} \cdot \frac{H_0}{\beta}; \quad K_{\gamma_a} = -K_{H_0} \cdot \frac{H_0}{\gamma_a}; \quad K_{q_a} = -K_{H_0} \cdot \frac{H_0}{q_a}. \quad (14)$$

Для визначення зміни групової норми при невиконанні ТЕП у г/пас.-км необхідно величину досліджуваного ТЕП помножити на різницю між фактичною та плановою величинами цього показника:  $H_w = K_i (i_\phi - i)$ , де  $i$  – відповідний ТЕП.

Визначення втрат палива у тоннах через невиконання ТЕП здійснюється за формулою

$$\Delta Q_i = \Delta H_{wi} \cdot W_\phi \cdot 10^{-6}, \quad (15)$$

де  $W_\phi$  – фактичний пасажирообіг, пас.-км.

Запропонована методика дає достатню для аналізу точність, відрізняється від наявних простотою, більшою наочністю та компактністю розрахунків.

За результатами періодичного та оперативного аналізів визначаються причини втрат палива за будь-який період року, що дає змогу своєчасно їх усунути.

### Висновки

1. Визначення нормативів із витрати палива рекомендується здійснювати за математичною моделлю, в якій всі елементи зовнішнього середовища функціонування автобусів оцінюються кількісно середньою швидкістю їхнього руху. Це зумовлено існуванням безпосередньої залежності між швидкістю руху транспортного засобу, дорожньо-транспортними умовами та витратою палива.

2. При розрахунку загальної норми витрати палива для автобусів пропонується враховувати додаткову норму витрати палива, яка враховує їхню транспортну роботу.

3. Для управління витратою палива пропонується проводити аналіз, як періодичний (за квартал, рік), так і оперативний (протягом місяця чи за декаду).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Говорущенко М. Я. Системотехніка автомобільного транспорту (розрахункові методи досліджень): монографія. Харків: ХНАДУ, 2011. 292 с.

[2] Особливості забезпечення нормування показників і керування паливною економічністю транспортного засобу в умовах експлуатації / І. В. Грицук та ін. *Вісник машинобудування та транспорту: науковий журнал ВНТУ*. 2022. № 1(15). С. 52–58.

[3] Формування методу забезпечення нормування показників і керування паливною економічністю транспортного засобу у змінних умовах експлуатації / І. В. Грицук та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал*



ЛНТУ. 2022. № 18. Том 1. С. 56–65.

[4] Кривошапов С. І. Вдосконалення існуючої методики нормування витрат палива дорожньо-транспортних засобів. *Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія* / ред. І. Грищука. Херсон, : ХДМА, 2019. С. 419-434.

[5] Fuel economy in automobiles. Available: <http://surl.li/fjvnm>. Accessed on: March 11, 2023.

[6] The Facts on Fuel Economy Standards. Available: <http://surl.li/fjvnu>. Accessed on: March 11, 2023.

[7] NHTSA: USDOT Announces New Vehicle Fuel Economy Standards for Model Year 2024-2026. Available: <http://surl.li/fjvoe>. Accessed on: March 11, 2023.

[8] Fuel economy in the European Union. Available: <http://surl.li/fjvok>. Accessed on: March 11, 2023.

[9] Fuel Economy Standards and Regulations on Vehicle Inspection and Administration. Available: <http://surl.li/fjvot>. Accessed on: March 11, 2023.

[10] Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А.Ф. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. *Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6-ти т. Т. 1*. Харків: НТУ ХПІ, 2004, 492 с.

[11] Про затвердження «Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті». URL: <http://surl.li/cgxan> (дата звернення: 11.03.2023).

**Мармут Ігор Арнольдович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенка М. Я., e-mail: [mia2005.62@ukr.net](mailto:mia2005.62@ukr.net)

**Горбенко Олександр Сергійович** – студент групи А-51-22, автомобільний факультет, e-mail: [gorbenko011@gmail.com](mailto:gorbenko011@gmail.com)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

**Кашканов Андрій Альбертович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com)

**Кашканов Віталій Альбертович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [kash\\_2004@ukr.net](mailto:kash_2004@ukr.net)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**I. Marmut<sup>1</sup>**  
**A. Kashkanov<sup>2</sup>**  
**V. Kashkanov<sup>2</sup>**  
**O. Horbenko<sup>1</sup>**

## Development of fuel consumption standards for city buses and recommendations regarding the efficiency of their use

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*The basis of economical consumption of fuel and energy resources is the availability of a regulatory framework, which objectively reflects the conditions of operation of rolling stock of vehicles. The current rules are usually set by the average performance of cars and do not take into account the specific features of rolling stock. The article deals with the issues of fuel economy of city buses, taking into account real conditions of operation.*

*The most fully studied issues of assessment of car qualities in established modes. However, the qualitative impact of factors for these modes on roads with a horizontal profile can vary significantly in real operating conditions. In this regard, the problem of studying the fuel economy of cars in unsuspecting and cyclic modes is relevant. The most difficult are cyclic modes of traffic with stops, which include almost all phases of traffic, which are found in operation of city buses, as well as all gearboxes used in this case.*

*In order to solve the issues of rational use of fuel in road transport, it is important to improve the methods of calculating the indicators of fuel economy of cars in order to fully and accurately take into account the peculiarities of the process of their movement in different conditions of operation. In the development of fuel consumption standards, an analytical method was used, which is based on a strict mathematical model of diesel fuel consumption. The technique is based on a single classification of operating conditions, in which road and transport conditions are quantitatively assessed by the average technical speed, and atmospheric-climatic-pressure and ambient temperature.*

*For the analysis, selection and justification of factors (parameters) for inclusion in the mathematical models of fuel consumption of buses, taking into account the conditions of operation, the equation of fuel consumption, proposed by prof. M. Ya. Govorushchenko for established movement.*

*An important advantage of the developed methodology is the possibility of individual fuel consumption at road transport enterprises using simple computing equipment at the actual speeds of vehicles and daily air temperature.*

**Key words:** city bus, fuel consumption, mathematical model, average technical speed.

**Marmut Ihor** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technical Operation and Service of Cars, e-mail: [mia2005.62@ukr.net](mailto:mia2005.62@ukr.net)

**Kashkanov Andriy** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com)

**Kashkanov Vitaliy** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [kash\\_2004@ukr.net](mailto:kash_2004@ukr.net)

**Horbenko Oleksandr** – student of group А-51-22, Automobile Faculty, e-mail: [gorbenko011@gmail.com](mailto:gorbenko011@gmail.com)