

*С. І. КРИВОШАПОВ, О. І. НАЗАРОВ, М. Є. СЕРГІЄНКО, А. М. СЕРГІЄНКО,  
А. Г. МАМОНТОВ, А. С. БОРИСЕНКО*

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ РУХУ ДОРОГОЮ НА ВИТРАТУ ПАЛИВА ДЛЯ ЛЕГКОВИХ ТА ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ**

Розглянуто рух автомобіля на ділянки дороги, де він розганяється, рухається з максимально дозволеною швидкістю та зупиняється, а середня технічна швидкість буде залежить від відстані такої ділянки дороги. Складено модель та проведено імітаційне моделювання для легкових та вантажних автомобілів з обмеженням максимальної швидкості. Отримано результати найбільш ймовірної зміни середньої технічної швидкості автомобіля від довжини ділянки дороги, де автомобіль послідовно прискорюється, рухається з постійною швидкістю і сповільнюється до зупинки. Наведені графіки зміни швидкості легкових та вантажних автомобілів від довжини ділянки дороги у межах та за межею міста. На прикладі двох автомобілів бензинового легкового та дизельного вантажного були отримані результати зміни витрати палива від відстані між зупинками на ділянки дороги. Сформульовано висновки та зазначено шляхи подальших досліджень, спрямованих на вдосконалення методики нормування витрати палива в нашій країні.

**Ключові слова:** автомобіль, паливна економічність, нормування витрати палива, технічні характеристики, імітаційне моделювання, статистичний аналіз, умови експлуатації

*S. KRIVOSHAPOV, O. NAZAROV, N. SERGIENKO, A. SERGIENKO, A. MAMONTOV,  
A. BORYSENKO*

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ROAD DRIVE MODE SPEED ON FUEL CONSUMPTION FOR PASSENGER CARS AND TRUCKS**

Fuel efficiency is one of the important indicators that evaluate the operational properties of a car. There are different approaches to determining fuel consumption under operating conditions, but mathematical modeling is preferred. It was established that fuel consumption directly depends on the speed of movement. The speed of movement is influenced by the technical parameters of the car, the speed limit according to the Traffic Rules, the complexity of road and transport operating conditions, the professionalism and driving style of the driver, etc. The paper examines the movement of a car on road sections where it accelerates, moves at the maximum permitted speed and stops, and the average technical speed will depend on the distance of such a road section. A model was created and simulated simulations were carried out for cars and trucks with a maximum speed limit to the permitted one in urban and non-urban conditions. In each experiment, acceleration and deceleration were varied within the prescribed limits for each type of car. The results of the most likely change in the average technical speed of the car from the length of the road section, where the car successively accelerates, moves at a constant speed and slows down to a stop, are obtained. For example, on a 100 m road section, the average technical speed of a car will be 30 km/h, and a truck - 20 km/h. Graphs of changes in the speed of cars and trucks depending on the length of the road section within and beyond the city limits are given. The average technical speed increases significantly with the increase in the length of the road section up to 1 km within the city limits and up to 2 km outside the city limits. The calculation model for determining the fuel consumption of Prof. was used in the work. Govorushchenko M.Ya. The basic rate of fuel consumption was calculated for two gasoline cars and a diesel truck. As a result of the joint use of the fuel consumption calculation model and the simulation model to determine the average technical speed from the distance of the road section on which the "acceleration-stop" cycle is carried out, the results of changes in the fuel efficiency of cars in different conditions were obtained. Graphs have been constructed that relate fuel consumption and the distance of the road section. Conclusions are formulated and ways of further research aimed at improving the methodology of fuel consumption rationing in our country are indicated.

**Key words:** vehicle, fuel efficiency, fuel consumption rationing, technical characteristics, simulation modeling, statistical analysis, operating conditions

**Вступ.** Під час проектування та виробництва для автомобілів визначаються певні експлуатаційні властивості, які характеризують рівень його якості та ефективності в умовах експлуатації. Виокремлюють наступні експлуатаційні властивості автомобіля: тягово-швидкісні, гальмівні, паливно-економічні, керованість, стійкість, прохідність та плавність ходу [1]. При виборі марки автомобіля в першу чергу звертатимуть увагу на споживання палива, оскільки це значна витратна стаття, яка йде на експлуатацію транспортного засобу. Паливна

економічність може визначатися абсолютними та питомими показниками [2]. У нашій країні витрата палива прийнято вимірювати у літрах на 100 км пробігу.

На паливну економічність впливає конструкція автомобіля, режим руху, дорожні та транспортні умови експлуатації, технічний стан транспортного засобу, атмосферно-кліматичні умови, якість підготовки водіїв та інші фактори.

Завданням для власників автомобілів це зниження матеріальних витрат на експлуатацію, здійснити яку можливо за рахунок скорочення споживання палива у тих чи інших умовах.

#### **Аналіз останніх досягнень і публікацій.**

Існує деякі відхилення між офіційними даними заводу-виробника та дійсним споживанням палива в реальних умовах, що не сприяє ефективно контролювати та керувати паливною економічністю [3].

В Україні споживання палива на автомобільному транспорті довгий час визначалось методикою нормування витрати [4], але з листопаду 2023 року цей нормативний акт втратив свою чинність. Замість наказу [4] Державне підприємство "Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут" видав методичні рекомендації [5] щодо обліку витрати палива на транспорті, які повторили основні підходи методики нормування [4] та не внесли нових положень та рекомендацій. В [5] наведено необґрунтовані значення базової норми витрати палива, не враховується реальна швидкість руху та завантаження автомобіля, умови експлуатації коригуються коефіцієнтами (надбавками), які діють тільки при виконанні певних умов.

Інший підхід – це розрахункові методи визначення витрати палива за математичною моделлю. Побудовою математичних моделей займалися такі видатні вчені: Чудаков Є.А., Говорущенко М.Я. [6], Маяк Н.М., Зимелев Г.В., Висоцький М.С., Сахно В.П. [7], Токарев А.А., Фаробін Я.Є., Шаша І.К. [8], Великанов Д.П., Фалькевича В.С. та інші.

Ще існує підхід з визначення витрати палива на транспорті шляхом обробці експериментальних досліджень. В цьому випадку будується регресійна модель, яка зв'язує деякі параметри автомобіля та умов експлуатації з споживанням палива [9]. При значній кількості вхідних показників будується багатофакторні модель з планування експерименту [10]. Однак такі моделі не відображають повний взаємозв'язок параметрів на паливну економічність автомобіля, а тільки встановлює чисельний значення для конкретної марки або груп автомобілів. Якість математичного моделювання витрати палива буде визначатися тим, як розрахунки будуть враховувати реальних умов експлуатації. У складних дорожніх умовах (рух поганими та нерівними дорогами або в умовах бездоріжжя) значно збільшується витрата палива в літрах на 100 км [11], що не завжди враховується при нормуванні витрати палива [5]. На прикладі експлуатації автобусів в місті на маршруті встановлено, що стандартні іждові цикли не завжди відбивають реальні режими навантаження [12], тому для різних умов руху необхідно розробляти адаптовані швидкісні режими, які відповідають тим чи іншим умовам.

На середню технічну швидкість впливає відстань між зупинками, оскільки при рушанні з місця та прискоренні автомобіль рухається на знижених передачах [13] та частка енергії іде на передавання сил інерції [14], що збільшує витрату палива. В [5] зазначено, що робота автомобіля з частими зупинками (в середньому більше, ніж одна зупинка на один кілометр пробігу) та поїздка на короткі відстані (до 5 км) з тривалими перервами між поїздками (одна година і більше) приводить до збільшення витрати палива до 10 %. Але як саме впливає відстань між зупинками на витрату палива тут не встановлено.

**Мета та постановка задачі.** Мета дослідження – визначення впливу відстані дороги між зупинками на витрату палива, коли легковій та вантажній автомобілі рухаються по міських та замських дорогах. Для виконання цієї мети необхідно побудувати математичну модель руху автомобіля на дорозі, виконати імітаційне моделювання руху зі змінами параметрів, статистично обробити результати та побудувати регресійну модель визначення середньої технічної швидкості від довжини дороги. На основі математичної моделі з нормування витрати

палива встановити, як змінюється паливна економічність від типу рухомого складу та параметрів дороги.

### Визначення середньої технічної швидкості автомобілів від довжини ділянки дороги.

На ділянці дороги автомобіль послідовно відбувається наступні режими руху: прискорення, рух з постійної швидкості та уповільнення. Режим вільного вибігу та екстреного гальмування не розглядається. На рис. 1 зображена схема руху автомобіля на дорозі на різних режимах.

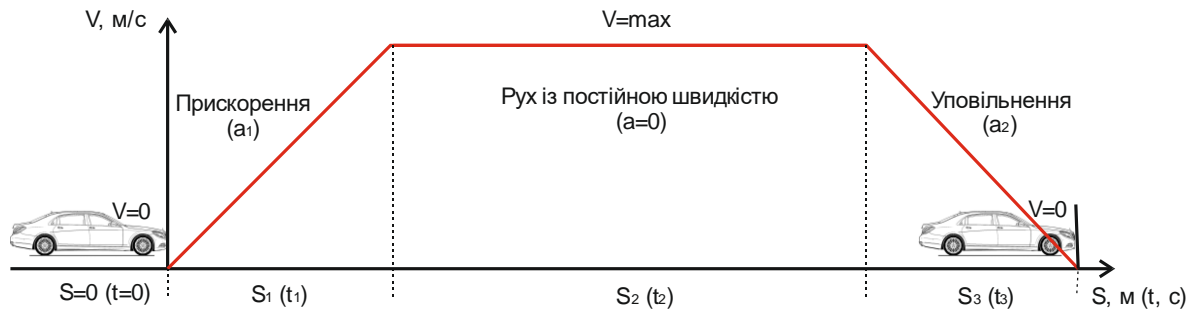


Рис. 1 – Режими руху автомобіля на дорозі

Відстань, яку долає автомобіль під час прискорення, можливо визначити наступним рівнянням:

$$S = x - x_0 = V_0 \cdot t + \frac{a_1 \cdot t^2}{2}, \quad (1)$$

де  $x_0$  – початкове положення автомобіля, м;  $x$  – кінцеве положення автомобіля, м;  $V_0$  – початкова швидкість автомобіля, м/с;  $a_1$  – прискорення автомобіля, м/с<sup>2</sup>;  $t$  – час руху, с.

Якщо автомобіль починає рухатись з місця:  $x_0 = 0$  та  $V_0 = 0$ . Позначимо час проходження ділянки розгону –  $t_1$ . За цей час автомобіль переміститься  $S_1$  від  $x_0 = 0$  до

$$S_1 = x_1 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2}. \quad (2)$$

При рівномірному русі шлях описується наступною формулою:

$$S_2 = x - x_0 = V_0 \cdot t, \quad (3)$$

Для цього режиму:  $x_0 = x_1$ , а  $V_0 = V$ . В кінці другої ділянки автомобіль витратить час:  $t_1 + t_2$ , а загальний шлях складе:

$$S_{12} = x_0 - x_2 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} + V \cdot t_2. \quad (4)$$

При уповільненні автомобіля зміна шляху від часу :

$$S_3 = x - x_0 = V_0 \cdot t - \frac{a_2 \cdot t^2}{2}, \quad (5)$$

Уповільнення відбувається від швидкості на другому етапі, коли:  $x_0 = x_2$ , а  $V_0 = V$ . На проходження трьох ділянок дороги  $S_{123}$  витрачається час  $t_3$ . Загальний шлях складе:

$$S_{123} = x_0 - x_3 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} + V(t_2 + t_3) - \frac{a_2 \cdot t_3^2}{2}. \quad (6)$$

Максимальна швидкість будь-якого автомобіля в межах міста не може перевищувати 50 км/год., а за межами міста для легкових та вантажних автомобілів швидкість обмежена 90 км/год. [15]. Рух по швидкісним дорогам, виділеним смугам або по магістралі не розглядається, оскільки зупинки на таких дорогах украї не бажані.

На рис. 2 наведено графік поточного часу на кожній ділянці маршруту від пересування легкового та вантажного автомобіля. Розрахунки виконувались у середовище MathCad.

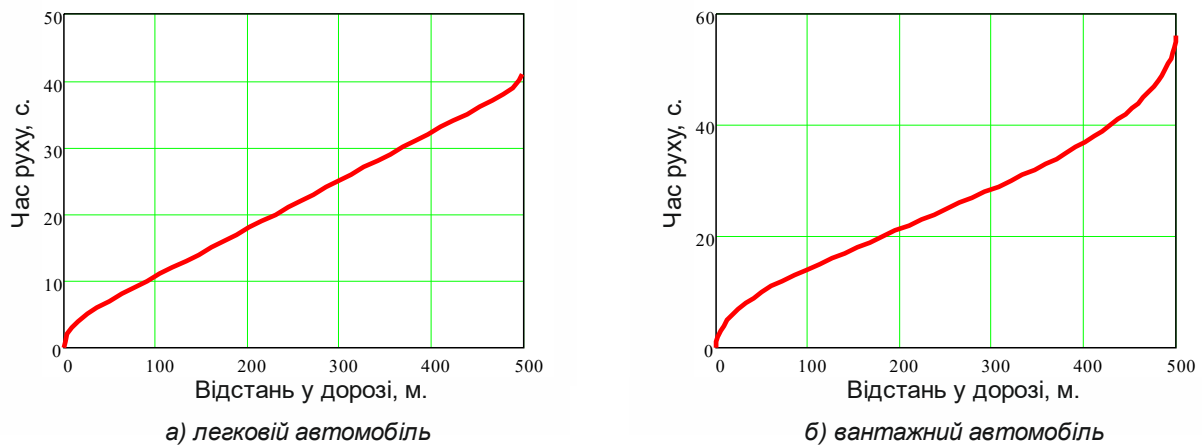


Рис. 2 – Зміна часу руху автомобіля на маршруті у місті

При складанні графіка були прийняті наступні показники:

- для легкового автомобіля:  $a_1 = 2 \text{ м/с}^2$ ;  $a_2 = 3 \text{ м/с}^2$ ;
- для вантажного автомобіля:  $a_1 = 1 \text{ м/с}^2$ ;  $a_2 = 0.5 \text{ м/с}^2$ .

За результатами розрахунку час перебування легкового автомобіля складатимуть:  $t_1 = 6,95 \text{ с}$ ,  $t_2 = 25,58 \text{ с}$ ,  $t_3 = 4,63 \text{ с}$ , а для вантажного:  $t_1 = 13,89 \text{ с}$ ,  $t_2 = 15,78 \text{ с}$ ,  $t_3 = 27,89 \text{ с}$ . Загальний шлях ділянки дороги у прикладі склало:  $S = 500 \text{ м}$ .

Середня швидкість руху автомобіля на всій дороги складатиме:

$$V_{cp} = \frac{S}{T}. \quad (7)$$

Для наведеного прикладу середня швидкість для легкового автомобіля:  $V_{cp} = 12,0 \text{ м/с}$  (43,08 км/год.), а для вантажного:  $V_{cp} = 8,8 \text{ м/с}$  (31,6 км/год.).

Загальний шлях  $S = S_{123}$  визначається як сума відстаней на кожній із ділянок, тобто

$$S = S_1 + S_2 + S_3. \quad (8)$$

Загальна довжина ділянки дороги  $S$  задається як аргумент. Його значення впливає на довжину другої ділянки дороги  $S_2$ :

$$S_2 = S - S_1 - S_3, \quad (9)$$

яка також змінюється від величини прискорення або уповільнення:  $S_1 = \frac{V^2}{2 \cdot a_1}$  та  $S_3 = \frac{V^2}{2 \cdot a_2}$ .

Загальний час проходження всього маршруту:  $T = t_1 + t_2 + t_3$ .

Якщо довжина шляху  $S_2$ , що розрахована за формулою (9), буде  $S_2 \leq 0$ , то це вказує, що автомобіль на такій ділянці дороги не встигне розігнатися до граничної швидкості. Тоді максимальна швидкість на всій ділянці дороги можливо розрахувати за формулою:

$$V = \frac{\sqrt{2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot (a_1 + a_2) \cdot S}}{a_1 + a_2}, \quad (10)$$

а режим руху автомобіля буде складатися від розгону до швидкості, яка визначається за формулою (10), та уповільнення із цієї швидкості до повної зупинки.

Проведемо імітаційне моделювання та розрахуємо середню технічну швидкість автомобіля при декількох значеннях вихідних показників. Прискорення і уповільнення легкового автомобіля змінюється у межах від  $1 \text{ м/с}^2$  до  $5 \text{ м/с}^2$ , а для вантажного - від  $0,5 \text{ м/с}^2$  до

3 м/с<sup>2</sup>. Довжина ділянки дороги ( $S$ ) - від 200 м до 2000 м. При моделюванні випадково задані значення показників  $S$ ,  $a_1$  і  $a_2$  в зазначеному діапазоні. Кількість генерацій - 10000 од. Закон генерації - рівномірний.

На рис. 3 представлені результати розрахунку середньої швидкості автомобіля від довжини ділянки.

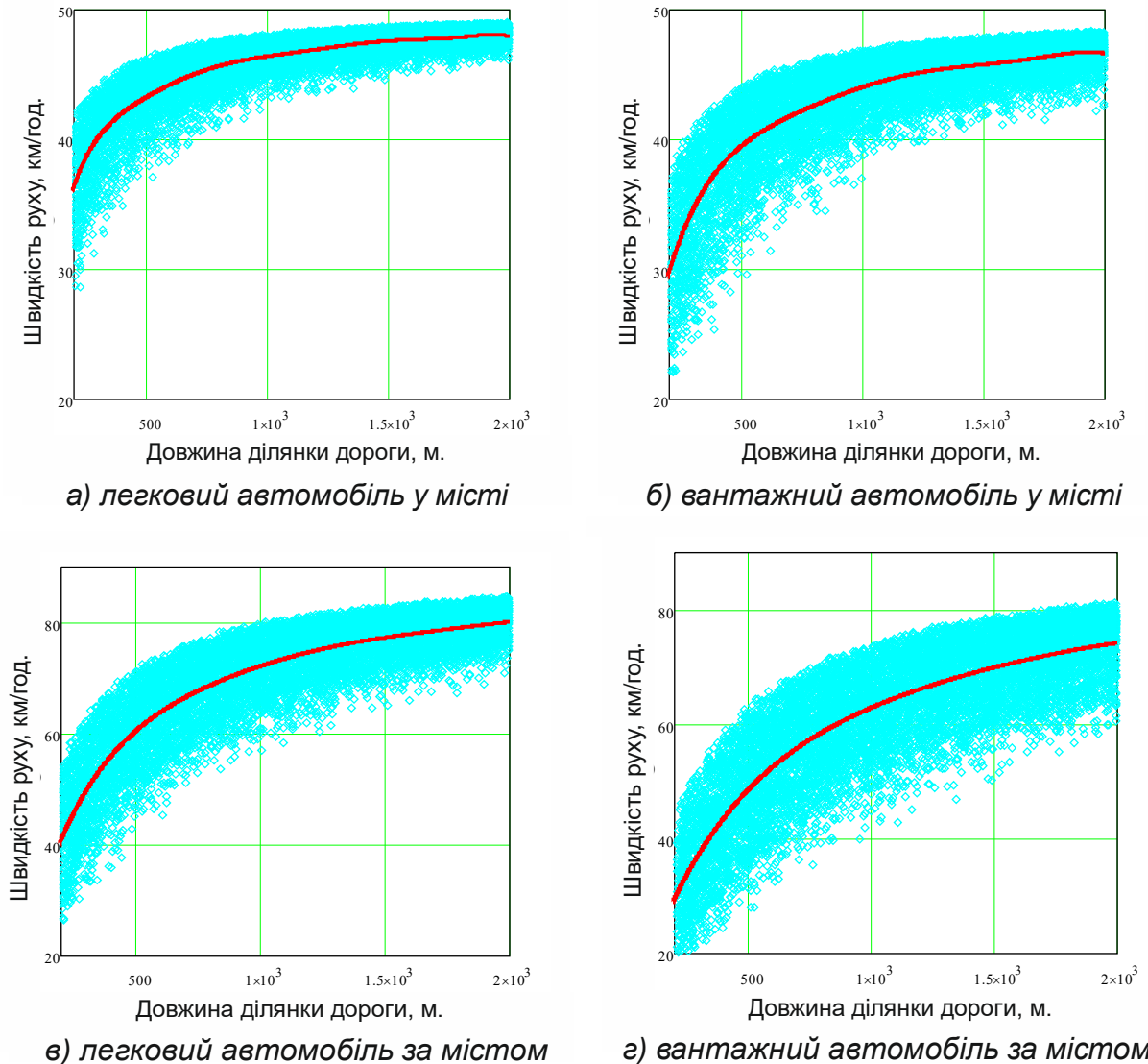


Рис. 3 – Результат імітаційного моделювання середньої технічної швидкості автомобіля

Вибір діапазону прискорення і уповільнення для легкових автомобілів обумовлене наступною логікою. Мимовільна зміна швидкості, яке зазначено як «шум прискорення», відбувається до 1 м/с<sup>2</sup>, тоді як прискорення більш 1 м/с<sup>2</sup> вважається маневром [6]. Мінімальне уповільнення автомобіля, при якому гальмівна система зберігає свою ефективність, становить 5 м/с<sup>2</sup>. Для вантажного автомобіля прискорення та уповільнення виконується приблизно в 2 разі менш інтенсивно ніж для легкових автомобілів [16] и суттєво залежить від маси транспортного засобу. Максимальна швидкість автомобіля 50 км/год. у місті та 90 км/год. за межами міста, що відповідає вимогам [15].

На рис. 3 червоним кольором зображена лінія тренду, яка є найбільш імовірнісною (математичне очікування) середню технічну швидкість залежно від довжини ділянки дороги. Синім кольором показана зона реалізації кожної швидкості при імітаційному моделюванні.

За результатами моделювання видно, що в умовах міста (при  $V_{\max} = 50$  км/год.) середня технічна швидкість на ділянці дороги 1 км становитиме для легкових автомобілів –

46,5 км/год., а для вантажного автомобіля – 44 км/год. На дорозі в 500 м середня технічна швидкість відповідно буде – 43,3 км/год. та 39,3 км/год. За межами міста, коли максимальна швидкість обмежена 90 км/год., для легкових автомобілів середня технічна швидкість на ділянці дороги в 1 км буде складати – 72,3 км/год., а на ділянці в 500 м – 60,6 км/год. Для вантажних автомобілів середня технічна швидкість на ділянках дороги в 1 км та 500 м буде складати – 63,1 км/год. та 48,8 км/год. відповідно. Ці результати співпадають с іншими дослідженнями [16], де встановлено найбільш вірогідна швидкість руху вантажних автомобілів на дорозі – 35 міль/год., що становить 56 км/год.

### Визначення норми витрати палива на ділянки дороги (між зупинками).

Виконаємо розрахунок витрати палива за математичною моделлю, яка наведена у статті [17] з деякими змінами та має наступний вигляд:

$$Q = \frac{V_h \cdot i_0 \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{r_k \cdot V_a \cdot \eta_i \cdot H_n \cdot \rho_t} \cdot \left( 7.95 \cdot a_m + \frac{0.087 \cdot b_m \cdot S_n \cdot i_0 \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{r_k} \right) + \frac{100}{\eta_i \cdot H_n \cdot \rho_t \cdot \eta_{mp}} \cdot \left( \frac{0.1 \cdot M_a \cdot V_{\max}}{V_a} + 0.038 \cdot C_x \cdot \alpha_t \cdot B_a \cdot H_a \cdot V_a^2 \right), \quad (11)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;  $i_0$  – передавальне число головної передачі;  $K_c$  – швидкісний коефіцієнт;  $V_{\max}$  – максимальна швидкість автомобіля, км/год.;  $i_{kp}$  – передавальне число вищої передачі коробки передач;  $r_k$  – радіус колеса, м;  $V_a$  – поточна швидкість автомобіля, км/год.;  $\eta_i$  – індикаторний коефіцієнт корисної дії двигуна;  $H_n$  – нижча теплота згоряння, кДж/кг;  $\rho_t$  – щільність палива, г/см<sup>3</sup>;  $a_m$  і  $b_m$  – коефіцієнти механічних втрат у двигуні;  $S_n$  – хід поршня, м;  $\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;  $M_a$  – маса автомобіля, кг;  $C_x$  – аеродинамічний коефіцієнт;  $\alpha_t$  – коефіцієнт заповнення лобової площі;  $B_a$  – ширина автомобіля, м;  $H_a$  – висота автомобіля, м.

Вирішуючи завдання нормування палива значення деяких показників, що входять до формули (11), можна прийняти такими для автомобілів з дизельним двигуном:  $\eta_i = 0.5$ ,  $H_n = 43000$  кДж/кг,  $\rho_t = 0,84$  г/см<sup>3</sup>;  $a_m = 48$  кПа;  $b_m = 16$  кПа·с/м, а для автомобілів с бензиноюю паливною системою:  $\eta_i = 0,3$ ,  $H_n = 44000$  кДж/кг,  $\rho_t = 0,76$  г/см<sup>3</sup>;  $a_m = 45$  кПа;  $b_m = 13$  кПа·с/м. Інші показники приймаються з технічних даних на автомобіль.

Розглянемо два автомобіля виробництва України: легковий бензиновий автомобіль ЗАЗ Шанс 1.5 МТ S та вантажний дизельний автомобіль КрАЗ Н23.2.

Прийmemo наступні технічні характеристики для автомобіля ЗАЗ Шанс 1.5 МТ S:  $V_h = 1,498$  л,  $i_0 = 4,176$ ,  $r_k = 0,286$  м,  $S_n = 0,0815$  м,  $\eta_{mp} = 0,95$ ,  $M_a = 1595$ ,  $C_x = 0,35$ ,  $B_a = 1,678$  м,  $H_a = 1,432$  м,  $K_c = 0,69$ ,  $V_{\max} = 172$  км/год.,  $i_{kp} = 0,763$ ,  $\eta_{mp} = 0,95$ ,  $\alpha_t = 0,85$ .

Розрахуємо норму витрати палива для автомобіля ЗАЗ Шанс 1.5 МТ S при швидкості 50 км/год. за формулою (11) (для повної маси транспортного засобу):

$$Q = \frac{1.498 \cdot 4.176 \cdot 0.69 \cdot 172 \cdot 0.763}{0.286 \cdot 50 \cdot 0.3 \cdot 44000 \cdot 0.76} \cdot \left( 7.95 \cdot 45 + \frac{0.087 \cdot 13 \cdot 0.0815 \cdot 4.176 \cdot 0.69 \cdot 172 \cdot 0.763}{r_k} \right) + \frac{100}{0.3 \cdot 44000 \cdot 0.76 \cdot 0.95} \cdot \left( \frac{0.1 \cdot 1595 \cdot 172}{50} + 0.038 \cdot 0.35 \cdot 0.85 \cdot 1.678 \cdot 1.432 \cdot 50^2 \right) = 7.89 \text{ л/100км}$$

За даними заводу виробника витрата палива у міських умовах – 10.4 л/100 км, за межами міста – 5.2 л/100 км. Розрахунки дали середню витрату палива.

Прийmemo наступні технічні характеристики для автомобіля КрАЗ Н23.2:  $V_h = 11,12$  л,  $i_0 = 6,154$ ,  $r_k = 0,596$  м,  $S_n = 0,156$  м,  $\eta_{mp} = 0,85$ ,  $M_a = 33200$ ,  $C_x = 0,9$ ,  $B_a = 2,491$  м,  $H_a = 3,14$  м,  $K_c = 0,9$ ,  $V_{max} = 90$  км/год.,  $i_{kp} = 0,73$ ,  $\eta_{mp} = 0,85$ ,  $\alpha_t = 0,95$ .

Розрахуємо норму витрати палива для автомобіля КрАЗ Н23.2 при швидкості 50 км/год. за формулою (11) (для повної маси транспортного засобу):

$$Q = \frac{11,12 \cdot 6,154 \cdot 0,9 \cdot 90 \cdot 0,73}{0,596 \cdot 50 \cdot 0,5 \cdot 43000 \cdot 0,84} \cdot \left( 7,95 \cdot 48 + \frac{0,087 \cdot 16 \cdot 0,156 \cdot 6,154 \cdot 0,9 \cdot 90 \cdot 0,73}{r_k} \right) + \frac{100}{0,5 \cdot 43000 \cdot 0,84 \cdot 0,85} \cdot \left( \frac{0,1 \cdot 33200 \cdot 90}{50} + 0,038 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 2,491 \cdot 3,15 \cdot 50^2 \right) = 45,4 \text{ л/100км}$$

Якщо в формулу витрати палива (11) підставити трендові значення середньої технічної швидкості, що наведено на рис. 3, то можливо отримати залежності впливу довжини ділянки «розгону-уповільнення» на витрату палива.

На рис. 4 зображені графічні залежності витрати палива від довжини ділянки дороги (відстані від зупинки), середні значення швидкості яких були отримані при імітаційному моделюванні.

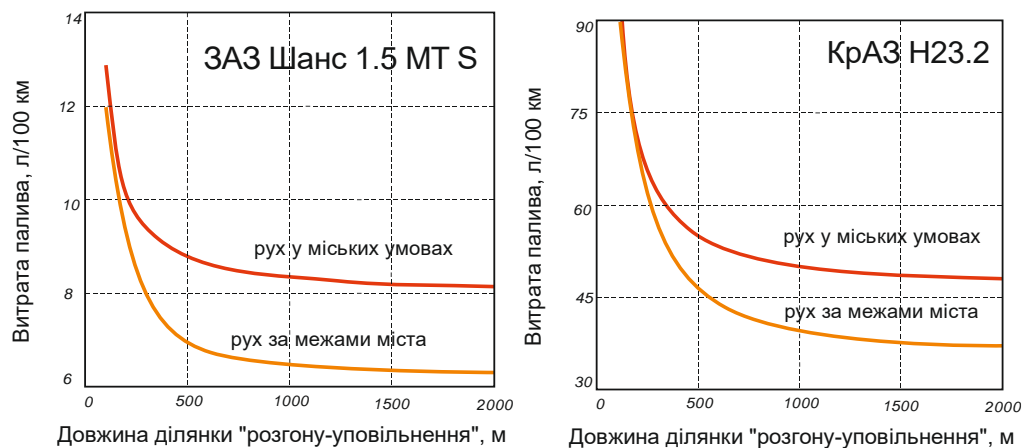


Рис. 4 – Результат моделювання витрати палива від довжини ділянки дороги

Результати розрахунків показали, що витрата палива починає зростати коли довжина ділянки дороги буде менш 1 км. Для вантажного автомобіля зміна витрати палива від зупинок біль суттєва ніж для легкового автомобіля. При довжині ділянки дороги 100 м витрата палива для автомобіля КрАЗ Н23.2 зросте майже вдвічі від базового значення, яке було розраховано при швидкості 50 км/год., та матимуть приблизне значення 97 л/100 км. На ділянки 200 м – зростання буде лише на 55 %.

Для автомобіля ЗАЗ Шанс 1.5 МТ S витрата палива зросте на дорозі 100 м – на 60 % (12,8 л/100 км), а на 200 м – 30 % (10,5 л/100 км). Легковий автомобіль в умовах міста споживає палива на 30 % більше ніж за межами міста, але для вантажного автомобіля ця різниця менш чутлива.

**Висновки.** Наведена математична модель дозволяє встановити кількісний взаємозв'язок між витратою палива та частотою (відстанню) зупинок. Витрата палива автомобіля може зрости вдвічі, якщо умови руху змушують водія зупинятися кожні 100 м, наприклад, при русі в місті в "годину-пік". Математична модель не враховує споживання палива під час зупинки, збільшення витрати палива через динаміку при розгоні автомобіля, рух "накатом", коли відсутня передача енергії від двигуна до коліс автомобіля, а двигун працює на мінімальних оборотах. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення існуючої системи нормування витрат палива для дорожньо-транспортних засобів з метою максимального обліку реальних умов експлуатації.

## Список літератури

1. Волков В.П., Теорія руху автомобіля : підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2015. – 320 с.
2. Сохацький А. В. Динаміка автомобільних та інших транспортних засобів. Ч. 1. Тягово-швидкісні властивості автотранспортних засобів. Паливна економічність : навч. посібник / А. В. Сохацький, О. В. Трофімов, О. Д. Фірсов. – Дніпро : Університет митної справи та фінансів, 2018. – 56 с.
3. Rujie Yu. Gap between on-road and official fuel efficiency of passenger vehicles in China / Rujie Yu, Huanhuan Ren, Yong Liu, Biying Yu. // *Energy Policy*. – Vol. 152. – 2021. – DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112236.
4. Наказ Міністерство транспорту України від 10.02.1998 № 43. Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98#Text> (дата звернення: 15.04.2024).
5. Клименко О.А. Методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою / О.А. Клименко, В.С. Устименко, О.В. Бондар та інші. – Київ: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2023. – 52 с.
6. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований). - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2011. – 323 с.
7. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів : [навчальний посібник] / В.П. Сахно, А.В. Костенко, М.І. Загороднов та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 444 с.
8. Шаша І.К. Удосконалення методу нормування витрат пального автобронетанкової техніки Національної гвардії України / І.К. Шаша, М.А. Стрельбицкий. // *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. – 2020. – Т. 1. – №. 35. – С. 5-12. – DOI: 10.33405/2409-7470/2020/1/35/207351.
9. Кривошапов С.И. Определение нормы расхода топлива грузовых автомобилей статистическим методом. // *Вісник ХНТУСГ*. – Вип. 184. – 2017. – С. 143-149.
10. Грубель М.Г. Диференційоване нормування лінійних витрат палива автобусів і вантажівок за різних умов руху / М.Г. Грубель, М.Ф. Боднар, Ю.Л. Крайник, А.М. Терещенко // *Науково-виробничий журнал*. - № 6 (236). – 2013. – С. 16-21.
11. Грубель М. Г. Оцінка тягово-швидкісних характеристик військової автомобільної техніки за умов руху бездоріжжям методами імітаційного моделювання / М.Г. Грубель, Л.В. Крайник, М.Ф.Боднар. // *Озброєння та військова техніка*. – 2019. – Т. 23. – №. 3. – С. 46-52.
12. Свостин-Косяк Д.А. Нормирование расхода топлива для городских автобусов с дизельным двигателем / Д.А. Свостин-Косяк, В.П. Сахно. // *Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки"*. Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2017. – Вып. 3 (39).
13. Кривошапов С.І. Використання методу Монте-Карло для визначення середньої технічної швидкості під час руху автомобіля на прямій ділянці дороги / Кривошапов С.І. // *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами»*, 17–18 листопада 2020 р. – Харків, ХНАДУ, 2020. – С. 135-137.
14. Hanzl J. Research on the Effect of Road Height Profile on Fuel Consumption during Vehicle Acceleration / Hanzl J., Peřman J., Bartuška L., Stopka O., Šarkan B. // *Technologies*. – 2022. – Vol. 10(6). – 128. – DOI: 10.3390/technologies10060128.
15. Постанова Кабінетна Міністрів України № 1306 від 10 жовт. 2001 р. Про Правила дорожнього руху. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п#Text> (дата звернення: 15.04.2024).
16. Zhang Z. Understanding freight drivers' behavior and the impact on vehicles' fuel consumption and CO2e emissions. / Zhang Z., Demir E., Mason R. et al. // *Operational Research : An International Journal* - Vol. 23, Article num. 59. – 2023. – DOI: 10.1007/s12351-023-00798-2.
17. Кривошапов С.І. Оцінка витрати палива автомобілів за питомими значеннями витрати палива та ефективної потужності / С.І. Кривошапов, О.І. Назаров, М.Є. Сергієнко. // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2022. – № 2'2022. – С.85-91.

## References (transliterated)

1. Volkov V.P., Teoriia rukhu avtomobilia : pidruchnyk / V.P. Volkov, H.B. Vil'skyi. – Sumy: Universytetska knyha, 2015. – 320 s.
2. Sohac'kij A. V. Dinamika avtomobil'nih ta inshih transportnih zasobiv. Ch. 1. Tjagovo-shvidkisni vlastivosti avtotransportnih zasobiv. Palivna ekonomichnist' : navch. posibnik / A. V. Sohac'kij, O. V. Trofimov, O. D. Firsov. – Dnipro : Universitet mitnoї spravi ta finansiv, 2018. – 56 p.
3. Rujie Yu. Gap between on-road and official fuel efficiency of passenger vehicles in China / Rujie Yu, Huanhuan Ren, Yong Liu, Biying Yu. // *Energy Policy*. – Vol. 152. – 2021. - DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112236.



4. Nakaz Ministerstvo transportu Ukrainy vid 10.02.1998 № 43. Pro zatverdzhennia Norm vytrat palyva i mastylnykh materialiv na avtomobilnomu transporti. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98#Text> (data zvernennia: 15.04.2024).
5. Klymenko O.A. Metodychni rekomendatsii z normuvannia vytrat palyva, elektrychnoi enerhii, mastylnykh, inshykh ekspluatatsiinykh materialiv avtomobiliamy ta tekhnikoii / O.A. Klymenko, V.S. Ustymenko, O.V. Bondar ta inshi. - Kyiv: DP «Derzhavtot-ransNDIproekt», 2023. – 52 s.
6. Govorushhenko N.Ja. Sistemotekhnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovaniy). - Har'kov: Izd-vo HNADU, 2011. – 323 p.
7. Sakhno V.P. Ekspluatatsiini vlastyvoli avtotransportnykh zasobiv. V 3 ch. Ch 1. Dynamichnist ta palyvna ekonomichnist avtotransportnykh zasobiv : [navchalnyi posibnyk] / V.P. Sakhno, A.V. Kostenko, M.I. Zahorodnov ta in. – Donetsk: Vyd-vo «Noulidzh» (donetske vidilennia), 2014. – 444 s.
8. Shasha I.K. Udoshkonalennia metodu normuvannia vytrat palnoho avtobronetankovoi tekhniki Natsionalnoi hvardii Ukrainy / I.K. Shasha, M.A. Strelbitskyi. // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Natsionalnoi hvardii Ukrainy. – 2020. – T. 1. – №. 35. – S. 5-12. – DOI: 10.33405/2409-7470/2020/1/35/207351.
9. Krivoshepov S.I. Opredelenie normy rashoda topliva gruzovykh avtomobiley statisticheskim metodom. // Visnik HNTUSG. - Vip. 184. – 2017. – S. 143-149.
10. Grubel M.G. Diferencijovane normuvannia liniynih vitrat paliva avtobusiv i vantazhivok za riznih umov ruhu / M.G. Grubel, M.F. Bodnar, Krajnik, A.M. Tereshenko // Naukovo-virobnichij zhurnal. - №6 (236). – 2013. – S.16-21.
11. Hrubel M. H. Otsinka tiahovo-shvydkisnykh kharakterystyk viiskovoi avtomobilnoi tekhniki za umov rukhu bezdorizhzhiam metodamy imitatsiinoho modeliuvannia / M.H. Hrubel, L.V. Krainyk, M.F. Bodnar. // Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. – 2019. – T. 23. – №. 3. – S. 46-52.
12. Svostyn-Kosyak D.A. Normyrovane raskhoda topliva dlia horodskykh avtobusov c dyzelnym dvyhatelem / D.A. Svostyn-Kosyak, V.P. Sakhno. // Vestnyk Natsionalnoho transportnoho unyversyteta. Seriya "Tekhnicheskyye nauky". Nauchno-tekhnicheskyyi sbornyk. – K.: NTU, 2017. – Vyb. 3 (39).
13. Kryvoshepov S.I. Vykorystannia metodu Monte-Karlo dlia vyznachennia serednoi tekhnichnoi shvydkosti pid chas rukhu avtomobilia na priamii dilianky dorohy / Kryvoshepov S.I. // Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Intelektualni tekhnologii upravlinnia transportnymy protsesamy», 17–18 lystopada 2020 r. – Kharkiv, KhNADU, 2020. – C. 135-137.
14. Hanzl J. Research on the Effect of Road Height Profile on Fuel Consumption during Vehicle Acceleration / Hanzl J., Peřman J., Bartuška L., Stopka O., Šarkan B. // Technologies. – 2022. – Vol. 10(6). – 128. – DOI: 10.3390/technologies10060128.
15. Postanova Kabinetna Ministriv Ukraini № 1306 vid 10 zhovt. 2001 r. Pro Pravyla dorozhnoho rukhu. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п#Text> (data zvernennia: 15.04.2024).
16. Zhang Z. Understanding freight drivers' behavior and the impact on vehicles' fuel consumption and CO2e emissions. / Zhang Z., Demir E., Mason R. et al. // Operational Research : An International Journal - Vol. 23, Article num. 59. – 2023. – DOI: 10.1007/s12351-023-00798-2.
17. Kryvoshepov S.I. Otsinka vytraty palyva avtomobiliv za pytomymy znachenniamy vytraty palyva ta efektyvnoi potuzhnosti / S.I. Kryvoshepov, O.I. Nazarov, M.Ye. Sergienko. // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho unyversytetu «KhPI». Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannia. – 2022. – № 2'2022. – C.85-91.

*Надійшла (received) 29.04.2024*

*Відомості про авторів / About the Authors*

**Кривошапов Сергій Іванович (Krivoshepov Sergey)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенко М.Я., м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4605-6790>; e-mail: [keat@khadi.kharkov.ua](mailto:keat@khadi.kharkov.ua)

**Назаров Олександр Іванович (Nazarov Oleksandr)** – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенко М.Я., м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9214-7506>; e-mail: [hefer64@gmail.com](mailto:hefer64@gmail.com)

**Сергієнко Микола Єгорович (Sergienko Mykola)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5168-1924>; e-mail: [nesergienko@gmail.com](mailto:nesergienko@gmail.com)

**Сергієнко Антон Миколайович (Sergienko Anton)** – кандидат технічних наук, директор, ТОВ «Інтехресурс»; м. Харків, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6067-1672>; e-mail: [sergienko2707@gmail.com](mailto:sergienko2707@gmail.com)

**Мамонтов Анатолій Геннадійович (Mamontov Anatolii)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5586-2113>; e-mail: [monkhoktar@gmail.com](mailto:monkhoktar@gmail.com)

**Борисенко Артур Сергійович (Borysenko Artur)** – інженер, ТОВ «Інтехресурс»; м. Харків, Україна; e-mail: [borysenkoatrur2402@gmail.com](mailto:borysenkoatrur2402@gmail.com)