



М. А. Подригало



Р. О. Кайдалов



О. В. Літвінов



С. А. Кудімов



А. І. Коробко



Ю. В. Тарасов

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Удосконалено метод розрахунку аеродинамічного опору руху автомобіля. Розроблена теоретична база і алгоритм визначення параметрів аеродинамічного опору автомобіля з використанням методу парціальних прискорень. Запропоновано більш досконалу методику визначення параметрів аеродинамічного опору, яка дозволяє оцінювати енергоперетворюючі властивості автомобілів.

*К л ю ч о в і с л о в а:* коефіцієнт аеродинамічного опору, швидкість автомобіля, метод парціальних прискорень, автомобілі сімейства КраЗ.

**Постановка проблеми.** Аеродинамічний опір руху є фактором, що найбільше впливає на витрату енергії двигуна автомобіля. Традиційно параметри аеродинамічного опору визначаються шляхом продування автомобіля в аеродинамічній трубі. Це дає змогу найбільш точно визначати коефіцієнт лобового аеродинамічного опору автомобіля для заданої швидкості продування. Розвиток методів і засобів визначення кінематичних параметрів автомобіля під час руху дозволив розробити методики, за якими визначають вказані параметри для вибігу автомобіля. У даній статті, використовуючи метод парціальних прискорень, запропонована удосконалена методика визначення параметрів аеродинамічного опору руху автомобіля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуюча на сьогодні методика розрахунку сили аеродинамічного опору руху автомобіля запропонована на початку минулого століття у відомих працях [1–5], у яких сила аеродинамічного опору може бути обчислена за формулою

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2, \quad (1)$$

де  $C_x$  – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;  $\rho$  – густина повітря;  $F$  – площа лобового перерізу автомобіля в поперечній площині;  $V_a$  – швидкість руху автомобіля.

Коефіцієнт  $C_x$  залежить від форми тіла. Якщо вважати  $C_x$  незалежним від швидкості, то, як показують результати теоретичних і практичних досліджень, вираз (1) справедливий не для всього діапазону швидкостей. На малих швидкостях (до 1 м/с) справджується закон першого степеня швидкості; на більших швидкостях, близьких до швидкості звуку, має місце закон кубів; для швидкостей вище звукової спостерігається закон квадратів [1–5]. У зазначених працях відмічається, що, застосовуючи тільки закон квадратів, необхідно брати коефіцієнт  $C_x$  залежно від швидкості  $V_a$ . На рис. 1 представлений графік залежності цього коефіцієнта як відношення швидкості руху тіла до швидкості звуку.

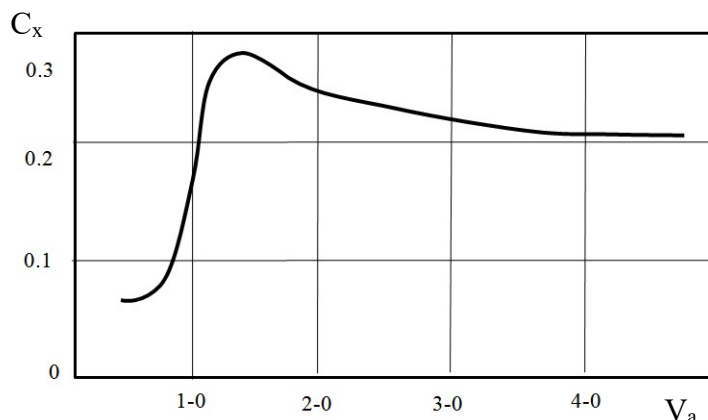


Рис. 1. Залежність  $C_x(V_a)$  [1]

У працях [6, 7] з дослідження методу парціальних прискорень експериментальним шляхом визначені залежності коефіцієнта  $C_x$  автомобілів ЗАЗ-1102 “Славута” і ВАЗ-2107 від швидкості (рис. 2). Для апроксимації експериментальних кривих  $C_x(V_a)$  запропонована апроксимуюча гіперболічна залежність [6, 7]

$$\hat{C}_x = \frac{C_{x0}}{V_a^n}, \quad (2)$$

де  $C_{x0}$  – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору при  $V_a = 1$  м/с;  $n$  – показник степеня  $V_a$ .

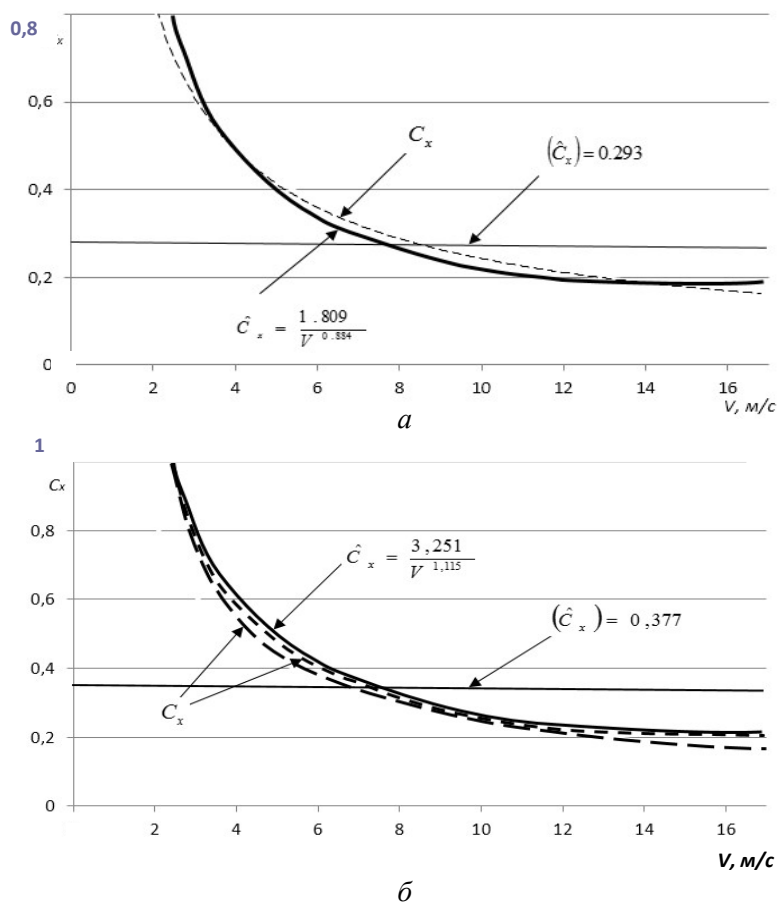


Рис. 2. Залежність коефіцієнта лобового аеродинамічного опору автомобіля  $C_x$  від швидкості:  
 а – автомобіля ВАЗ-2107, б – автомобіля ЗАЗ-1103 “Славута”

Зауважимо, що у працях [6, 7] допущена методична помилка, оскільки величина  $C_{x_0}$  у рівнянні, на відміну від безрозмірної величини  $C_x$ , повинна мати розмірність  $(\text{м/с})^n$ . Тому вираз необхідно записати так:

$$\hat{C}_x = \frac{A_w}{V_a^n}, \quad (3)$$

де  $A_w$  – коефіцієнт, який дорівнює  $C_{x_0}$  для  $V_a = 1 \text{ м/с}$ .

У працях [6, 7] також відсутній алгоритм визначення параметрів  $n$  та  $A_w$  для вибігу автомобіля.

**Метою статті** є розроблення теоретичної бази і алгоритму визначення параметрів  $n$  та  $A_w$  аеродинамічного опору автомобіля з використанням методу парціальних прискорень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити параметри аеродинамічного опору на прикладі автомобіля сімейства КрАЗ;
- розробити метод визначення параметрів аеродинамічного опору з дослідженням ривка прискорення під час вибігу автомобіля.

**Виклад основного матеріалу.** Визначення параметрів аеродинамічного опору на прикладі автомобіля сімейства КрАЗ. У таблиці 1 показані результати визначення коефіцієнта  $C_x$  для вантажних моделей автомобілів сімейства КрАЗ за результатами вибігу з дослідженням методики, наведеною у працях [6, 7].

Т а б л и ц я 1

*Результати визначення коефіцієнта  $C_x$  для різних значень  $V_a$*

Автомобіль	$V_a, \text{ м/с}$						
	1,11	2,22	3,33	4,44	5,28	5,55	6,39
КрАЗ-5233	1,20	0,56	0,37	0,29	-	0,24	0,23
КрАЗ-6322	1,42	0,50	0,27	0,18	-	0,14	0,13

Для визначення коефіцієнта регресії  $A_w$  та показника степеня  $n$  в апроксимуючій залежності (3) скористаємося методом найменших квадратів. Для зручності прологарифмуємо вираз (3) [8]:

$$\ln C_x = \ln A_w - n \ln V_a. \quad (4)$$

Цільова функція оптимізації буде мати такий вигляд:

$$U = \left\{ \sum_{i=1}^k \left( \ln C_{x_i} - \ln A_w + n \ln V_{a_i} \right)^2 \right\} \min, \quad (5)$$

де  $k$  – кількість вузлових точок апроксимації.

Часткові похідні функції  $U$  по  $\ln A_w$  та  $n$  мають такий вигляд:

$$\frac{\partial U}{\partial (\ln A_w)} = -2 \sum_{i=1}^k (\ln C_{x_i} - \ln A_w + n \ln V_{a_i}) = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 2 \sum_{i=1}^k (\ln C_{x_i} - \ln A_w + n \ln V_{a_i}) \ln V_{a_i} = 0. \quad (7)$$

З рівнянь (6) та (7) отримаємо систему рівнянь для визначення параметрів  $A_w$  та  $n$ :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^k \ln C_{X_i} - k \ln \dot{A}_w + n \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} = 0; \\ \sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i}) - \ln \dot{A}_w \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} + n \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Перетворюючи систему рівнянь (8), отримаємо

$$\ln \dot{A}_w = \frac{\sum_{i=1}^k \ln C_{X_i} + n \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i}}{k}; \quad (9)$$

$$n = \frac{\ln \dot{A}_w \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} - \sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i})}{\sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2}. \quad (10)$$

Після розв'язання системи рівнянь (9) та (10) матимемо

$$\ln \dot{A}_w = \frac{\sum_{i=1}^k \ln C_{X_i} \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} \sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i})}{k \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - (\sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i})^2} \quad (11)$$

або

$$\dot{A}_w = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^k \ln C_{X_i} \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} \sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i})}{k \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - (\sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i})^2} \right]. \quad (12)$$

Підставляючи вираз (11) у формулу (12), отримаємо

$$n = \frac{\sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} \sum_{i=1}^k \ln C_{X_i} \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - \sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i} \sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i})}{k \sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2 - (\sum_{i=1}^k \ln V_{\dot{a}i})^2} - \frac{\sum_{i=1}^k (\ln C_{X_i} \ln V_{\dot{a}i})}{\sum_{i=1}^k (\ln V_{\dot{a}i})^2}. \quad (13)$$

У таблиці 2 наведені значення  $A_w$  та  $n$ , обчислені за допомогою розрахункових формул (12), (13) для автомобілів сімейства КрАЗ.

Т а б л и ц я 2

*Значення параметрів  $A_w$  та  $n$  для автомобілів сімейства КрАЗ*

Автомобіль	$n$	$A_w$ , (м/с) <sup>n</sup>
КрАЗ-5233	0,908	1,177
КрАЗ-6322	1,403	1,563

У таблиці 3 наведені результати оцінювання точності апроксимації експериментальних кривих  $C_x(V_a)$  апроксимуючими кривими  $\hat{C}_x(V_a)$ .

Т а б л и ц я 3

*Оцінки апроксимації експериментальних кривих  $C_x(V_a)$  апроксимуючими кривими  $\hat{C}_x(V_a)$*

Автомобіль	Параметр	Швидкість $V_a$ , м/с						
		1,11	2,22	3,33	4,44	5,28	5,55	6,39
КрАЗ-5233	$C_x$	1,20	0,56	0,37	0,29	-	0,24	0,23
	$\hat{C}_x$	1,07	0,57	0,40	0,30	-	0,25	0,22
	$\partial C_x$	-0,12	-0,02	0,07	0,05	-	0,04	0,04
КрАЗ-6322	$C_x$	1,42	0,50	0,27	0,18	-	0,14	0,13
	$\hat{C}_x$	1,35	0,51	0,29	0,19	-	0,14	0,12
	$\partial C_x$	-0,05	0,02	0,07	0,05	-	0	-0,08

Аналіз результатів розрахунків, наведених у таблиці 3, свідчить, що похибка апроксимації в більшості вузлових точок не перевищує 7–8 %. У двох точках вказана похибка складає 10 та 12 %.

Рівняння (1) після підстановки в нього виразу (3) набиратиме такого вигляду (беремо  $C_x = \hat{C}_x$ ):

$$P_w = \frac{\dot{A}_w}{2} \rho F V_a^{2-n}. \quad (14)$$

Потужність, яка витрачається на подолання аеродинамічного опору,

$$N_w = P_w V_a = \frac{\dot{A}_w}{2} \rho F V_a^{3-n}. \quad (15)$$

Динамічний фактор автомобіля

$$D = \frac{P_k - P_w}{m_a g} = \frac{P_k - 0,5 \dot{A}_w \rho F V_a^{2-n}}{m_a g}, \quad (16)$$

де  $P_k$  – сумарна тягова швидкість автомобіля;  $m_a$  – маса автомобіля;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

Перетворимо вираз (16) на такий:

$$D = \frac{a_{\text{тяг}} - a_w}{g}, \quad (17)$$

де  $a_{\text{тяг}}$  – парціальне тягове прискорення автомобіля:

$$a_{\text{тяг}} = \frac{P_k}{m_a}, \quad (18)$$

де  $a_w$  – парціальне прискорення аеродинамічного опору руху автомобіля.

$$a_w = \frac{0,5A_w \rho F V_a^{2-n}}{m_a}. \quad (19)$$

Використання ривка прискорення автомобіля під час вибігу для визначення параметрів аеродинамічного опору. Рівняння динаміки автомобіля під час вибігу має такий вигляд:

$$m_a \frac{dV_a}{dt} = -m_a g \Psi - P_w = -m_a g \Psi - a_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{2-n}, \quad (20)$$

де  $\Psi$  – сумарний коефіцієнт дорожнього опору.

Розділивши ліву і праву частини рівняння (20) на  $m_a$ , отримаємо рівняння парціальних прискорень

$$\frac{dV_a}{dt} = \dot{V}_a = -g \Psi - \frac{A_w}{2m_a} \rho F V_a^{2-n}. \quad (21)$$

Ривок прискорення

$$\ddot{V}_a = -\frac{2-n}{2} \frac{A_w}{m_a} \rho F V_a^{1-n} \dot{V}_a. \quad (22)$$

Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс [9–12] дозволяє із заданою частотою визначити параметри  $V_a, \dot{V}_a, \ddot{V}_a$ . Вимірюючи вказані параметри в моменти часу  $t_1$  та  $t_2 = t_1 + \Delta t$ , отримаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} \ddot{V}_{a1} = -\frac{2-n}{2} \frac{A_w}{m_a} \rho F V_{a1}^{1-n} \dot{V}_{a1}; \\ \ddot{V}_{a2} = -\frac{2-n}{2} \frac{A_w}{m_a} \rho F V_{a2}^{1-n} \dot{V}_{a2}, \end{cases} \quad (23)$$

де  $V_{a1}, \dot{V}_{a1}, \ddot{V}_{a1}$  – параметри, зафіксовані в момент  $t_1$ ;  $V_{a2}, \dot{V}_{a2}, \ddot{V}_{a2}$  – параметри, зафіксовані в момент  $t_2$ .

Розділивши ліву і праву частини рівняння (23) на ліву і праву частини рівняння (24), отримаємо

$$\frac{\ddot{V}_{a1}}{\dot{V}_{a2}} = \left( \frac{V_{a1}}{V_{a2}} \right)^{1-n} \frac{\dot{V}_{a1}}{\dot{V}_{a2}} \quad (25)$$

або

$$\frac{\ddot{V}_{a1}}{\dot{V}_{a2}} \frac{\dot{V}_{a1}}{\dot{V}_{a2}} = \left( \frac{V_{a1}}{V_{a2}} \right)^{1-n}. \quad (26)$$

Звідки визначаємо

$$n = 1 - \frac{\ln\left(\frac{\ddot{V}_{a1}}{\ddot{V}_{a2}}\right) + \ln\left(\frac{\ddot{V}_{a2}}{\ddot{V}_{a1}}\right)}{\ln\left(\frac{V_{a1}}{V_{a2}}\right)}. \quad (27)$$

Виразивши по частинно ліві і праві частини рівнянь (23) та (24), отримаємо

$$\ddot{V}_{a1} - \ddot{V}_{a2} = -\frac{2-n}{2} \frac{A_w}{m_a} \rho F \left( V_{a1}^{1-n} \dot{V}_{a1} - V_{a2}^{1-n} \dot{V}_{a2} \right). \quad (28)$$

Звідки визначаємо

$$A_w = -\frac{2}{2-n} \frac{m_a}{\rho F} \frac{\ddot{V}_{a1} - \ddot{V}_{a2}}{V_{a1}^{1-n} \dot{V}_{a1} - V_{a2}^{1-n} \dot{V}_{a2}}. \quad (29)$$

Час вибігу значно більший  $\Delta t$ .

Проводячи заміри в моменти часу  $T_1 = t_1$  та  $T_2 = T_1 + \Delta T$ , отримаємо масив значень  $n$  і  $A_w$ . Після статистичної обробки масиву визначимо  $\bar{n}$  і  $\overline{A_w}$ .

На рис. 3 наведена структурна схема визначення параметрів аеродинамічного опору повітря автомобіля в процесі вибігу.

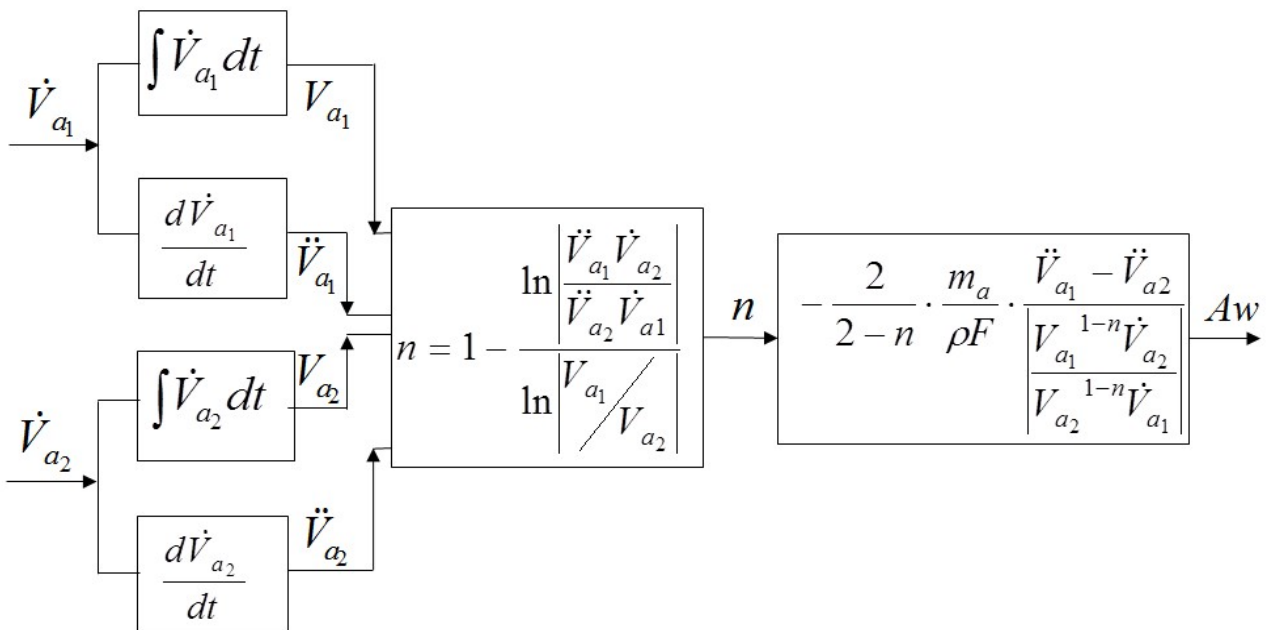


Рис. 3. Структурна схема визначення параметрів  $n$  та  $A_w$

### Висновок

У результаті проведеного дослідження удосконалено метод розрахунку аеродинамічного опору руху автомобіля. Запропонована більш досконала методика визначення параметрів аеродинамічного опору, яка дозволить в майбутньому з більшою точністю і об'єктивністю оцінювати енергоперетворюючі властивості автомобілів.

#### Список використаних джерел

1. Техническая энциклопедия [Текст] / А. Н. Бах, С. В. Берыштейн-Коган, А. Л. Вейк и др. – Москва : Москомграф, 1927. – Т. 1. – 858 с.
2. BOSCH. Автомобильный справочник [Текст] : пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ЗАО КЖИ “За рулем”, 2004. – 992 с.
3. Passmore M.A. & Jenkins E.G., Measuring Vehicle Drag Forces Using an OnBoard Microcomputer, Proc Inst of Mech Engineers, DO3389 Vol.204, 1990.
4. Passmore M. A. & Le Good G.M., A Detailed Drag Study Using the Coastdown Method, SAE 940420, 1994.
5. Petrushov V. High Accuracy Coastdown Test Method by Distance-Time Measurement: Development of Short Distance Method and its Evaluation Petrushov V., Hur N., An I. Korea Society of Automotive Engineers, Inc. – Paper № 953730. – 1995.
6. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин [Текст] / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Харьков : Міськдрук, 2012. – 220 с.
7. Коробко, А. І. Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів: дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02 / Андрій Іванович Коробко. – Харків : ХНАДУ, 2013. – 176 с.
8. Спосіб визначення аеродинамічних параметрів під час вибігу автомобіля [Текст] : пат. 116670 Україна / Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Нікорчук А. І. та ін.; ХНАДУ. – № u 2016 13533 ; заявл. 28.12.2016 ; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
9. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин [Текст] : монография / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 220 с.
10. Болдовский, В. Н. Разработка системы контроля ускорений тягово-транспортных средств [Текст] / В. Н. Болдовский, Д. М. Клец // Вісник КПУ. – Київ : Міськ. друк., 2009. – Вип. 18. – С. 42 – 44.
11. Беляев, В. М. Автомобили: испытания [Текст] : учеб. пособие для ВУЗов / М. С. Высоцкий, Л. Х. Гилесес ; под ред. А. М. Гришкевича, М. С. Высоцкого. – Москва : Высш. шк., 1991. – 187 с.
12. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень [Текст] / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, О. О. Назарько // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету: міжвузівс. зб. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – Вип. 78. – С. 432–434.

*Стаття надійшла до редакції 10.04.2019 р.*

**УДК 629.017**

**М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, А. В. Литвинов, С. А. Кудимов, А. И. Коробко, Ю. В. Тарасов**

#### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ АВТОМОБИЛЯ**

*Усовершенствован метод расчета аэродинамического сопротивления движению автомобиля. Разработана теоретическая база и алгоритм определения параметров аэродинамического сопротивления автомобиля с использованием метода парциальных ускорений. Предложена более совершенная методика определения параметров аэродинамического сопротивления, которая позволяет оценивать энергопреобразующие свойства автомобилей.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: коэффициент аэродинамического сопротивления, скорость автомобиля, метод парциальных ускорений, автомобили семейства КрАЗ.*



M. A. Podrigalo, R. O. Kaydalov, O. V. Litvinov, S. A. Kudimov, A. I. Korobko, Yu. V. Tarasov

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF EXPERIMENTAL-THEORETICAL DEFINITION OF PARAMETERS OF AERODYNAMIC MOTOR VEHICLE SUPPORT

*Aerodynamic motion resistance is a factor that has the greatest impact on the energy dissipation of the car engine. Traditionally, aerodynamic resistance parameters were determined by blasting the car in an aerodynamic tube. This allowed the most accurate determination of the coefficient of frontal aerodynamic resistance of the vehicle at a given blowing speed. The development of methods and means for determining the kinematic parameters of the car while driving allowed the development of a number of techniques that allow them to determine the parameters when riding a car.*

*In this paper, with the study of the method of partial accelerations, an advanced method for determining the parameters of the aerodynamic resistance of the vehicle is proposed.*

*The analysis of recent studies and publications has shown that the current methodology for calculating the aerodynamic resistance of a car is proposed at the beginning of the last century in known works and has not been changed over the course of the century. This technique is not effective at low speeds to determine the aerodynamic resistance of vehicles and is designed to determine the coefficient at high speeds, since the coefficient  $C_x$  depends on the shape of the body.*

*Therefore, considering  $C_x$  independent of velocity, the results of theoretical and practical studies show that the expression for the calculations is not valid over the entire velocity range. At low speeds (up to 1 m / s) the law of the first degree of speed is valid; at higher speeds close to the speed of sound, the law of cubes takes place; at speeds higher than the speed of the sound again the square-cube law is again observed. In the considered work it is noted that taking the square-cubes law in all the cases, it is necessary to set the coefficient  $C_x$  depending on speed  $V_a$ .*

*In this article, using the method of partial acceleration, an advanced method of determining the parameters of aerodynamic resistance of a car is proposed.*

*In this article, the method of calculating the aerodynamic resistance of the vehicle is improved. The theoretical basis and algorithm of determination of parameters of aerodynamic resistance of a car using the method of partial accelerations are developed. A more thorough method of determination of parameters of aerodynamic resistance is offered, which allows carrying out an estimation of energy-transforming properties of automobiles.*

*К е у в о р д с: coefficient of aerodynamic resistance, speed of the car, method of partial accelerations, cars of the KrAZ family.*

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

**Кайдалов Руслан Олегович** – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-5131-6246>

**Літвінов Олексій Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0003-0009-5129](http://orcid.org/0000-0003-0009-5129)

**Кудімов Сергій Анатолійович** – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-7772-7115](http://orcid.org/0000-0002-7772-7115)

**Коробко Андрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільного університету.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-6618-7790](http://orcid.org/0000-0002-6618-7790)

**Тарасов Юрій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підготовки офіцерів запасу Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0003-4562-7838](http://orcid.org/0000-0003-4562-7838)