



М. А. Подригало



Р. О. Кайдалов



С. А. Кудімов

ВПЛИВ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА РАЦІОНАЛЬНУ ДИНАМІЧНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ АВТОМОБІЛЯ

Запропонована удосконалена методика визначення раціональної динамічної характеристики автомобілів з використанням уточненого методу визначення сили аеродинамічного опору, яка діє на автомобіль у процесі руху, що ґрунтується на емпіричній залежності коефіцієнта лобового аеродинамічного опору від швидкості руху автомобіля.

К л ю ч о в і с л о в а: потужність двигуна, прискорення автомобіля, швидкість автомобіля, динамічна характеристика автомобіля, аеродинамічний опір.

Постановка проблеми. Раціональне використання запасу потужності двигуна дозволяє забезпечити ефективний розгін автомобіля. Питанню побудови раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля присвячені праці багатьох авторів. Однак при визначенні прискорень автомобіля використовувалась традиційна методика розрахунку аеродинамічного опору, заснована на сталому значенні коефіцієнта лобового опору C_x у всьому діапазоні швидкостей руху. Проте зазначений коефіцієнт є несталим, що дає значну похибку при визначенні сил аеродинамічного опору.

У даній статті наведені результати синтезу раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля з урахуванням залежності коефіцієнта C_x від швидкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Розробленню та дослідженню раціональної динамічної характеристики розгону автомобілів присвячені публікації [1–4]. У працях [1] та [2] досліджувались раціональні швидкості руху автомобілів, за яких забезпечуються високі динамічні показники автомобіля. У працях [3] та [4] отримана раціональна динамічна характеристика розгону автомобіля, яка зв'язує між собою прискорення та швидкість автомобіля:

$$\dot{V}_a = \frac{dV_a}{dt} = \frac{8g\psi V_a^2}{\delta_{об}} \cdot \frac{\frac{m_a g \psi}{3kF} + V_a^2}{\left(\frac{m_a g \psi}{3kF} - V_a^2\right)^2}, \quad (1)$$

де \dot{V}_a ; V_a – лінійне прискорення і швидкість автомобіля;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

ψ – коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

m_a – маса автомобіля;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування обертових мас трансмісії та двигуна [5];

U_k – передаточне число коробки передач;

F – площа лобового перерізу автомобіля в поперечній площині (мідель автомобіля);

k – коефіцієнт опору повітря;

C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;

ρ – густина повітря.

$$\delta_{об} = 1,03 + 0,05U_k^2. \quad (2)$$

$$k = \frac{C_x}{2} \rho. \quad (3)$$

Використовувана нині методика розрахунку сили аеродинамічного опору руху автомобіля розроблена на початку минулого століття у відомій праці [6]. Згідно із запропонованою теорією сила аеродинамічного опору визначається як

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2. \quad (4)$$

У вказаній праці [6] та довіднику [7] відмічається, що коефіцієнт C_x залежить від форми тіла та змінюється при зміні швидкості руху. В подальшому залежність C_x від швидкості подавали, вважаючи $C_x = \text{const}$ у всьому діапазоні швидкостей руху автомобіля. У публікації [8] показано, що за припущення $C_x = \text{const}$, вводиться значна похибка в оцінювання динамічних та енергетичних показників автомобіля. В результаті використання методу парціальних прискорень для вибігу автомобіля у цій праці отримана емпірична залежність коефіцієнта лобового аеродинамічного опору від швидкості

$$C_x = \frac{C_{x0}}{V_a^k}, \quad (5)$$

де k – показник ступеня (коефіцієнт регресії) в апроксимуючій залежності, що набуває різні значення залежно від конкретного автомобіля; C_{x0} – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору при $V_a = 1 \text{ м/с}$.

Оскільки величина C_x безрозмірна, то в подальшому перетворимо вираз (5) до вигляду

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^k}, \quad (6)$$

де A_w – коефіцієнт, чисельно рівний C_{x0} , але який має розмірність $(\text{м/с})^k$.

З урахуванням залежності (6) вираз (4) перетвориться до вигляду

$$P_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{2-k}. \quad (7)$$

Результати розрахунку сили аеродинамічного опору P_w , виконаного у праці [8] за формулою (7) при $V_a = 125 \text{ км/год}$ для автомобіля “Славути”, показали зниження її величини у 6 разів, порівнюючи з традиційним розрахунком за формулою (4).

Сила аеродинамічного опору найбільше впливає на динаміку розгону автомобіля [9]. Уточнення методики її визначення потребує також уточнення раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля.

Метою статті є отримання удосконаленої динамічної характеристики розгону з урахуванням методики розрахунку аеродинамічних параметрів автомобіля. Для виконання поставленого завдання необхідно визначити взаємозалежність між раціональним прискоренням та швидкістю автомобіля, використовуючи уточнений розрахунок сили аеродинамічного опору.

Викладення основного матеріалу. Вихідним рівнянням для отримання виразу (1) у працях [1, 2] було

$$N_p = N_e \cdot \eta_{тр} - N_\psi - N_w, \quad (8)$$

де N_p – частка потужності на ведучих колесах, що витрачається на розгін; N_e – ефективна потужність двигуна; N_ψ – потужність, що витрачається на подолання сумарного дорожнього опору; N_w – потужність, що витрачається на подолання аеродинамічного опору; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії.

Потужність, що витрачається на розгін, може бути визначена [10] як

$$N_p = \Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a \dot{V}_a V_a, \quad (9)$$

де ΔN_e – запас ефективної потужності двигуна на розгін автомобіля.

Потужність, що витрачається на подолання сумарного дорожнього опору,

$$N_\psi = P_\psi V_a = m_a g \psi V_a. \quad (10)$$

Потужність, що витрачається на подолання сили аеродинамічного опору,

$$N_w = P_w V_a \quad (11)$$

або з урахуванням виразу (7)

$$N_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k}. \quad (12)$$

Після підстановки виразів (9), (10) та (12) у рівняння балансу потужностей (8) отримаємо

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a \dot{V}_a V_a = N_e \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_a - \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k}. \quad (13)$$

При рівномірному русі автомобіля рівняння (13) набирає такого вигляду:

$$N_e \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_a - \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k} = 0. \quad (14)$$

Для розгону автомобіля від швидкості V_a до V_{a1} необхідно збільшити ефективну потужність двигуна на величину ΔN_e . Рівняння балансу потужностей при досягненні автомобілем швидкості V_{a1} запишемо так:

$$(N_e + \Delta N_e) \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_{a1} - \frac{A_w}{2} \rho F V_{a1}^{3-k} = 0. \quad (15)$$

Провівши почленне віднімання з рівняння (15) рівняння (14), отримаємо

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a g \psi (V_{a1} - V_a) + \frac{A_w}{2} \rho F (V_{a1}^{3-k} - V_a^{3-k}) \quad (16)$$

або

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a g \psi \Delta V_a + \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}], \quad (17)$$

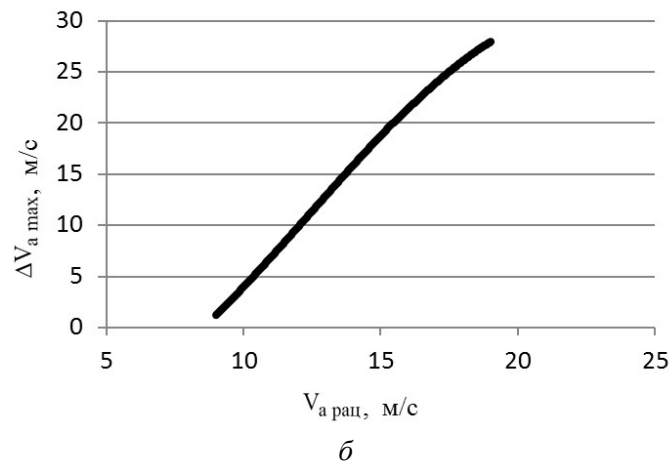
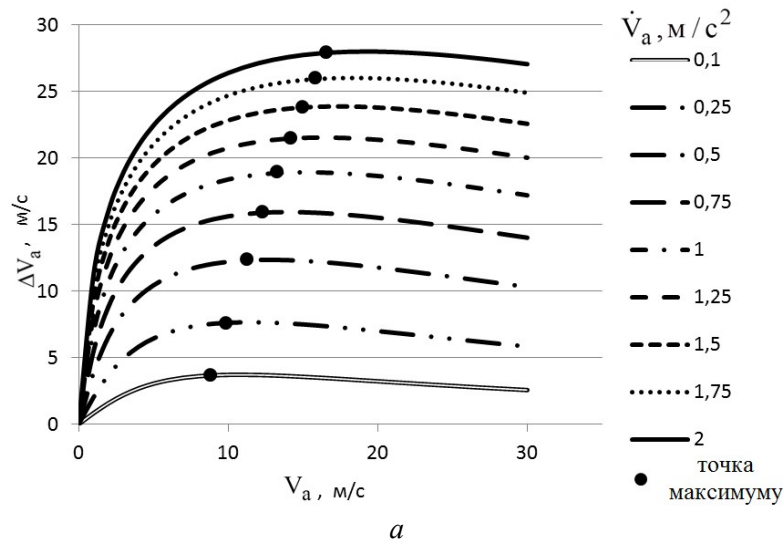
де ΔV_a – збільшення лінійної швидкості автомобіля, забезпечуване миттєвим ступінчастим збільшенням ефективної потужності двигуна на величину ΔN_e .

$$\Delta V_a = V_{a1} - V_a \quad (18)$$

Після підстановки співвідношення (9) в рівняння (17) отримаємо

$$m_a \dot{V}_a V_a = m_a g \psi \Delta V_a + \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (19)$$

На рисунку зображено отриману відповідно до рівняння (19), розв'язаного чисельним методом, раціональну динамічну характеристику бронеавтомобіля “ШРЕК”.



Раціональна динамічна характеристика бронеавтомобіля “ШРЕК”:

a – визначення максимального приросту швидкості; *б* – раціональна динамічна характеристика бронеавтомобіля “ШРЕК”

Визначити аналітичним методом величину ΔV_a з рівняння (19) важко. Тому перетворимо останнє рівняння до вигляду

$$m_a \dot{V}_a V_a \left(1 - \frac{g \psi \Delta V_a}{\dot{V}_a V_a} \right) = \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (20)$$

Для випадку руху автомобіля по дорозі з удосконаленим покриттям з невеликим значенням Ψ можливо припустити, що

$$\frac{g\Psi\Delta V_a}{\dot{V}_a V_a} \rightarrow 0. \quad (21)$$

У такому разі вираз (20) набиратиме вигляду

$$m_a \dot{V}_a V_a = \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (22)$$

Звідки

$$\Delta V_a \cong \sqrt[3-k]{\frac{2m_a}{A_w \rho F} \cdot V_a \dot{V}_a + V_a^{3-k} - V_a}. \quad (23)$$

Висновок

У ході проведеного дослідження отримана методика визначення раціональної динамічної характеристики автомобілів з використанням уточненого методу обчислення сили аеродинамічного опору, яка діє на автомобіль у процесі руху.

Перелік джерел посилання

1. Файст В. Л. Удосконалення вимог до динамічних властивостей легкових автомобілів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2012. 20 с.
2. Динамічні властивості та стабільність функціонування автотранспортних засобів: монографія / Д. В. Абрамов та ін.; за ред. М. А. Подригало і О. С. Полянського. Харків: ХНАДУ, 2014. 204 с.
3. Подригало М. А., Кайдалов Р. О. Раціональна динамічна характеристика автомобіля. *Вісник машинобудування та транспорту*: наук. журн. Вінниця, 2017. № 2(6). С. 78–85.
4. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.02. Харків, 2018. 40 с.
5. Бортницький П. И., Задорожний В. И. Тягово-скоростные качества автомобилей. Киев: Выща шк., 1978. 176 с.
6. Техническая энциклопедия / А. Н. Бах и др. Москва: Москомграф, 1927. Т. 1. 858 с.
7. BOSCH. Автомобильный справочник: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: За рулем, 2004. 992 с.
8. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н. П. Артемов и др. Харків: Міськдрук, 2012. 220 с.
9. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля. Львов: Свиш, 1992. 208 с.
10. Подригало М. А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов. Харків: Акад. ВВ МВД Украины, 2013. 222 с.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2019 р.

УДК 629.017

М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, С. А. Кудимов

ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАЦИОНАЛЬНУЮ ДИНАМИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ АВТОМОБИЛЯ

Предложена усовершенствованная методика определения рациональной динамической характеристики автомобилей с использованием уточненного метода определения силы

аэродинамического сопротивления, которая действует на автомобиль в процессе движения и основывается на эмпирической зависимости коэффициента лобового аэродинамического сопротивления от скорости движения автомобиля.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мощность двигателя, ускорение автомобиля, скорость автомобиля, динамическая характеристика автомобиля, аэродинамическое сопротивление.

UDC 629.017

М. А. Podrigalo, R. O. Kaydalov, S. A. Kudimov

THE INFLUENCE OF AERODYNAMIC INDICATORS ON THE RATIONAL DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE VEHICLE

Vehicle dynamism is one of the most important operational features of a vehicle. The speed of transportation, timeliness of the tasks of delivery of goods to the destination, the total volume of transportations per unit of time depend on its characteristics.

The rational use of the engine power reserve allows providing the highest level of dynamics and effective acceleration of the vehicle.

The works of many authors are dedicated to the development and construction of a rational dynamic car overclocking characteristic, as it enables high dynamic performance of the car.

Aerodynamic impedance of the motor is the factor that has the greatest impact on the energy consumption of the engine of the car. Therefore, taking into account the aerodynamic force arising from the movement of the car is an important component in the evaluation of the dynamic and energy parameters of the cars.

The current method of calculating the aerodynamic drag force of a car was proposed at the beginning of the last century. According to the proposed theory, the aerodynamic drag force is determined by using the aerodynamic drag coefficient C_x , which depends on the shape of the body and varies with the speed of movement. However, in the future, the mentioned coefficient was assumed to be equal to a constant value, which in turn introduced a significant error in the assessment of the dynamic and energy performance indicators of the car.

In this article, the method of determining the aerodynamic force acting on a car in the course of motion is considered, which is based on the empirical dependence of the coefficient C_x of frontal aerodynamic resistance on the speed of movement of the car. An improved technique for determining the rational dynamic characteristics of cars using these parameters is proposed. The dynamic characteristics of the "SHREK" armored vehicle in the range of speeds from 0 m/s to 30 m/s and acceleration from 0 m/s² to 2 m/s² are shown in the graphical form in accordance with the developed methodology for taking into account the refined parameters of calculation of the aerodynamic resistance force, which acts on the car while driving at different speeds.

The results of synthesis of rational dynamic characteristics of car acceleration are presented in the article, taking into account the dependence of the coefficient C_x on speed.

К e y w o r d s: engine power, vehicle acceleration, vehicle speed, dynamic vehicle performance, aerodynamic drag.

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.

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

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

<http://orcid.org/0000-0002-7772-7115>