

М. А. Подригало¹
В. М. Краснокутський²
В. А. Кашканов³
О. С. Ткаченко¹
О. Г. Янчик²

ПОКРАЩЕННЯ ТЯГОВОГО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯМ МЕТОДІВ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ МОТОРНО-ТРАНСМІСІЙНОЇ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЯ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут

³Вінницький національний технічний університет

Аеродинамічні характеристики здійснюють основний вплив на енергетичну ефективність і тягово-швидкісні властивості автомобіля.

У цій статті, на основі раніше проведених досліджень аеродинамічних характеристик різних моделей автомобілів, запропоновано вдосконалений метод вибору параметрів двигуна і трансмісії на етапі проектування.

Метою дослідження є покращення динамічних властивостей автомобіля шляхом вдосконалення методу вибору основних параметрів моторно-трансмійної установки за рахунок уточнення розрахунку аеродинамічного опору руху. Для її досягнення необхідно розв'язати такі задачі: уточнити методику вибору максимальної ефективної потужності двигуна; уточнити методику визначення максимальної конструктивної швидкості автомобіля; розробити методику вибору передавальних чисел трансмісії.

Аеродинамічний опір руху автомобіля визначається лобовим коефіцієнтом зазначеного опору, густиною повітряного середовища, площею лобового опору (міделем) і швидкістю автомобіля. З класичних робіт із аеродинаміки автомобіля відомо, що у діапазоні швидкостей руху автомобілів від 20 м/с до 80 м/с, приймаючи закон квадратів при оцінці сили опору повітря, слід змінювати коефіцієнт лобового аеродинамічного опору в залежності від швидкості автомобіля. Однак, при проведенні розрахунків цей коефіцієнт беруть постійним, що приводить до отримання великих значень сили опору повітря при високих швидкостях і менших – при малих.

Розглянуто можливі два шляхи поліпшення динамічних властивостей і енергоефективності автомобіля при його модернізації (підвищення максимальної конструктивної швидкості автомобіля за рахунок зниження передавального відношення трансмісії на вищій передачі; зниження максимальної ефективності потужності двигуна при збереженні колишнього передавального відношення трансмісії на вищій передачі).

У результаті проведеного дослідження удосконалено метод вибору (максимальної ефективної потужності двигуна; максимальної конструктивної швидкості автомобіля; передавальних чисел трансмісії) на стадії проектування параметрів моторно-трансмійної установки автомобіля.

Ключові слова: автомобіль, динамічні характеристики, параметри двигуна, моторно-трансмійна установка, швидкість, передавальні числа, аеродинамічний опір.

Вступ

Тягово-швидкісні властивості формуються на стадії проектування автомобіля. В основі проведення традиційного розрахунку тягово-швидкісних характеристик автомобіля лежить визначення сили аеродинамічного опору руху при постійному коефіцієнті лобового аеродинамічного опору. Це спричиняє значні похибки, особливо при визначенні максимальної конструктивної швидкості машини і необхідної максимальної ефективної потужності двигуна.

У цій статті, на основі раніше проведених досліджень аеродинамічних характеристик різних моделей автомобілів, запропоновано удосконалений метод вибору параметрів двигуна і трансмісії на етапі проектування.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Аеродинамічний опір руху автомобіля визначається лобовим коефіцієнтом зазначеного опору C_x , густиною повітряного середовища ρ , площею лобового опору (міделем) F і швидкістю руху автомобіля V_a . У розділі роботи [1] з експериментальної аеродинаміки, відзначається, що у діапазоні швидкостей

руху автомобілів від 20 м/с до 80 м/с, приймаючи закон квадратів при оцінюванні сили опору повітря, слід змінювати коефіцієнт C_x залежно від швидкості V_a .

Проте у традиційних розрахунках аеродинамічної сили приймають $C_x = \text{const}$, що приводить до отримання занижених значень при малих швидкостях руху і завищених – при високих.

Розрахунок аеродинамічної сили здійснюють за відомою формулою

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

Проведені у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті дослідження [2] дозволили запропонувати емпіричну формулу, яка пов'язала між собою величини V_a і C_x . Ця залежність має вигляд

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^n}, \quad (2)$$

де n – показник степеня; A_w – коефіцієнт регресії, чисельно рівний коефіцієнту лобового аеродинамічного опору при $V_a = 1$ м/с, розмірність зазначеного коефіцієнта (м/с) ^{n} .

Після підстановки (2) у (1) отримаємо

$$P_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{2-n}. \quad (3)$$

В роботі [2] визначено, що при розрахунку за формулою (1) сила F_w для автомобіля ЗАЗ-1103 «Славути» у шість разів вища, ніж при розрахунку за формулою (3) (при швидкості автомобіля, що дорівнює $V_a = 126$ км/год). Це означає, що і витрати потужності двигуна при русі на швидкості $V_a = 126$ км/год будуть у шість разів менші. Остання обставина дозволяє висунути гіпотезу про те, що при існуючій методиці проектування максимальна швидкість автомобіля обмежується не аеродинамічним опором, а максимальною кутовою швидкістю вала двигуна і передавальним числом трансмісії на вищій передачі. І тут можливі два шляхи поліпшення динамічних властивостей і енергоефективності автомобіля при його модернізації:

- підвищення максимальної конструктивної швидкості автомобіля за рахунок зниження передавального відношення трансмісії на вищій передачі;
- зниження максимальної ефективності потужності двигуна при збереженні колишнього передавального відношення трансмісії на вищій передачі.

Мета і постановка задач дослідження

Метою дослідження є покращення динамічних властивостей автомобіля шляхом вдосконалення методу вибору основних параметрів моторно-трансмісійної установки за рахунок уточнення розрахунку аеродинамічного опору руху.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- уточнити методику вибору максимальної ефективної потужності двигуна;
- уточнити методику визначення максимальної конструктивної швидкості автомобіля;
- розробити методику вибору передавальних чисел трансмісії.

Викладення основного матеріалу

При проектуванні автомобіля з урахуванням удосконаленого розрахунку аеродинамічного опору необхідно вибір максимальної ефективної потужності двигуна здійснювати за допомогою такої формули:

$$N_{e \max} = \left[m_p g \psi_V V_{a \max} + \frac{A_w}{2} \rho F V_{a \max}^{3-n} \right] / (\lambda_{N_V} \eta_{TP}), \quad (4)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; m_p – повна маса автомобіля; ψ_V – коефіцієнт сумарного дорожнього опору при максимальній швидкості руху автомобіля; $V_{a \max}$ – максимальна розрахункова швидкість руху автомобіля, м/с; λ_{N_V} – коефіцієнт, який дорівнює відношенню ефективної потужності двигуна $N_{V \max}$, що розвивається при максимальній швидкості автомобіля $V_{a \max}$, до максимальної ефективної потужності двигуна; η_{TP} – ККД трансмісії.

Рівняння (4) представимо у вигляді

$$N_{e\max} \lambda_{N_V} \eta_{TP} - m_P g f_V V_{a\max} = \frac{A_w}{2} \rho F V_{a\max}^{3-n} \quad (5)$$

або

$$N_{e\max} \lambda_{N_V} \left(\eta_{TP} - \frac{m_P g f_V V_{a\max}}{N_{e\max}} \right) = \frac{A_w}{2} \rho F V_{a\max}^{3-n}, \quad (6)$$

де f_V – коефіцієнт опору коченню коліс при максимальній швидкості руху.

У рівнянні (6) коефіцієнт втрат на подолання опору коченню коліс

$$\xi_f = \frac{m_P g f_V V_{a\max}}{\lambda_{N_V} N_{e\max}} = 1 - \eta_f, \quad (7)$$

де η_f – коефіцієнт корисної дії колісного рушія.

Вираз (6) з урахуванням (7) прийме такий вигляд:

$$N_{e\max} \lambda_{N_V} (\eta_{TP} + \eta_f - 1) = \frac{A_w}{2} \rho F V_{a\max}^{3-n}. \quad (8)$$

При заданих параметрах $N_{e\max}$ та λ_{N_V} визначимо максимальну конструктивну швидкість автомобіля, яка визначається максимальним аеродинамічним опором руху

$$V_{a\max} = \sqrt[3-n]{\frac{2N_{e\max} \lambda_{N_V} (\eta_{TP} + \eta_f - 1)}{A_w \rho F}}. \quad (9)$$

Необхідна кількість передач у трансмісії визначається діапазоном зміни кутової швидкості ω_{kp} вала двигуна від ω_{\min} до ω_{\max} . Якщо лінійна швидкість автомобіля V_a змінюється у діапазоні від $V_{a\min}$ до $V_{a\max}$, то необхідне число передач трансмісії може бути знайдено з умови

$$V_{a\max} - V_{a\min} = r_k (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \sum_{i=1}^k \frac{1}{u_{TP_i}}, \quad (10)$$

де r_k – кінематичний радіус колеса.

У виразі (10)

$$\sum_{i=1}^k \frac{1}{u_{TP_i}} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{u_{TP_1}} + \frac{1}{u_{TP_2}} + \dots + \frac{1}{u_{TP_i}} + \dots + \frac{1}{u_{TP_k}} \right) = \frac{1}{u_{TP_1}} \sum_{i=1}^k (1 + q_u + q_u^2 + \dots + q_u^i + \dots + q_u^{k-1}), \quad (11)$$

де $u_{TP_1}; u_{TP_2}; \dots; u_{TP_i}; \dots; u_{TP_k}$ – передаточні числа трансмісії на I-й (нижчій), II-й; i-й та k-й (вищій) передачі; q_u – знаменник геометричної прогресії зміни передавальних чисел трансмісії,

$$q_u = \frac{u_{TP_{i+1}}}{u_{TP_i}}. \quad (12)$$

Сума членів зростаючої геометричної прогресії

$$S_n = \sum_{i=1}^k \frac{1}{u_{TP_i}} = \frac{1}{u_{TP_1}} \sum_{i=1}^k (1 + q_u + q_u^2 + \dots + q_u^i + \dots + q_u^{k-1}) = \frac{q_u^{k-1} - 1}{u_{TP_1} (q_u - 1)}. \quad (13)$$

Вираз (10) з урахуванням (13) перетвориться до вигляду

$$\frac{V_{a\max} - V_{a\min}}{(\omega_{\max} - \omega_{\min}) r_k} = \frac{q_u^{k-1} - 1}{u_{TP_1} (q_u - 1)}. \quad (14)$$

Знаменник q_u геометричної прогресії зміни передавальних чисел трансмісії знаходимо з умови

$$\frac{\omega_{\max} r_k}{u_{TP_i}} = \frac{\omega_{\min} r_k}{u_{TP_{i+1}}}. \quad (15)$$

Звідси знаходимо

$$q_u = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}. \quad (16)$$

Рівняння (14) з урахуванням (16) приймає вигляд

$$\left(\frac{\omega_{\min}}{\omega_{\max}}\right)^{k-1} = 1 + \frac{V_{a\max} - V_{a\min}}{\omega_{\min}} \cdot \frac{u_{TPi}}{r_k}. \quad (17)$$

Із виразу (17), після його логарифмування, визначимо необхідну кількість передач

$$k = 1 + \frac{\ln \left| 1 + \frac{V_{a\max} - V_{a\min}}{\omega_{\min}} \frac{u_{TPi}}{r_k} \right|}{\ln \left| \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \right|}. \quad (18)$$

Передавальне відношення трансмісії на вищій передачі

$$u_{TP} = \frac{V_{a\max}}{\omega_{\max} r_k}. \quad (19)$$

Вибір передавальних чисел трансмісії на нижчій і проміжних передачах передбачається вибирати за заданими величинами прискорень при зрушенні з місця і розгоні автомобіля.

Передавальне число трансмісії на нижчій передачі знаходимо за допомогою індексу динамічності [3]. Індекс динамічності автомобіля є відношенням максимального прискорення цього автомобіля при зрушенні з місця до аналогічного параметра найбільш динамічного автомобіля (автомобіля-лідера) [3]. Крім того, у роботі [3] для оцінки технічного рівня галузі (автомобілебудування) пропонується індекс динамічності автомобіля-лідера

$$q_{lid} = \frac{(\dot{V}_0)_{\max}}{\phi g}, \quad (20)$$

де $(\dot{V}_0)_{\max}$ – максимальне прискорення автомобіля-лідера при зрушенні з місця на нижчій передачі; ϕ – коефіцієнт зчеплення колес із дорогою; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Ступінь досягнення автомобілем, який розглядається, граничних динамічних можливостей може бути оцінений показником – ступенем досягнення граничного лінійного прискорення [3]

$$q_{UD} = q_i q_{lid}, \quad (21)$$

де q_i – індекс динамічності i -го автомобіля

$$q_i = \frac{\dot{V}_{0i}}{(\dot{V}_0)_{\max}}; \quad (22)$$

\dot{V}_{0i} – початкове прискорення цього автомобіля при зрушенні з місця (максимальне для зазначеного автомобіля) [3].

Рівняння динаміки автомобіля

$$m_p \dot{V}_a = P_k \eta_f - \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{2-n}, \quad (23)$$

де P_k – тягова сила на колесі.

При зрушенні з місця на нижчій передачі

$$P_{kH} = \frac{M_{e\max} \eta_{TP} u_{TPH}}{r_o}, \quad (24)$$

де P_{TPH} – передавальне число трансмісії на нижчій передачі; r_o – динамічний радіус колеса.

Із рівняння (23) знаходимо лінійне прискорення автомобіля

$$\dot{V}_a = \frac{P_k \eta_f}{m_{\Pi}} - \frac{A_w}{2m_{\Pi}} \rho F V_a^{2-n}. \quad (25)$$

У момент зрушення автомобіля з місця $V_a = 0$. Прирівнюючи праві частини рівнянь (25) і (21), отримаємо при $V_a = 0$ та з урахуванням співвідношення (24)

$$\frac{M_{e\max} \eta_{TP} \eta_f u_{TPH}}{m_p r_\delta} = q_{UD} \phi g. \quad (26)$$

Звідки знаходимо

$$u_{TPH} = \frac{q_{UD} \phi g m_p r_\delta}{M_{e\max} \eta_{TP} \eta_f}. \quad (27)$$

Після підстановки виразу (9) у рівняння (19), отримаємо після перетворень

$$u_{TPB} = \frac{\omega_{\max} r_k}{\sqrt[3-n]{\frac{2N_{e\max} \lambda_{N_v} (\eta_{TP} + \eta_f - 1)}{A_w \rho F}}}. \quad (28)$$

Приймаючи, що значення передавальних чисел утворюють геометричний ряд із постійним множником q_u , останній можна визначити за такою формулою:

$$q_u = {}^{k-1}\sqrt{\frac{u_{TPH}}{u_{TPB}}}. \quad (29)$$

Після підстановки виразів (27) і (28) у (29) отримаємо

$$q_u = {}^{k-1}\sqrt{\frac{q_{UD} \phi g m_p r_\delta / r_k}{M_{e\max} \eta_{TP} \eta_f \omega_{\max}}} \sqrt[3-n]{\frac{A_w \rho F}{2N_{e\max} \lambda_{N_v} (\eta_{TP} + \eta_f - 1)}}. \quad (30)$$

Висновки

В результаті проведеного дослідження удосконалено метод вибору на стадії проектування параметрів моторно-трансмісійної установки автомобіля. При цьому уточнені методики вибору:

- максимальної ефективної потужності двигуна;
- максимальної конструктивної швидкості автомобіля;
- передавальних чисел трансмісії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Л. К. Мартенс, Ред., «Аэродинамика», в *Техническая энциклопедия*. М.: Советская энциклопедия, 1927, том 1(26).
 [2] Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. *Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин*. Харьков, Украина: Мисьдрук, 2012. 220с.
 [3] М. А. Подригало, Д. М. Клец, и А. Н. Мостовая, «Оценка технического уровня по показателям динамических свойств автомобиля», *Вісник Національного транспортного університету*, вип. 25, с. 226–233. 2012.

Подригало Михайло Абович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Ткаченко Олександр Сергійович – аспірант, кафедра технології машинобудування і ремонту машин.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Краснокутський Володимир Миколайович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», e-mail: hvukvn62@gmail.com.

Янчик Олександр Григорович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри безпеки праці та навколишнього середовища, e-mail: alex_yanchik@ukr.net.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Кашканов Віталій Альбертович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kash_2004@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

M. Podrigalo¹
V. Krasnokutskyi²
V. Kashkanov³
O. Tkachenko¹
A. Yanchik²

Improvement of driving-speed properties improvement of the method for selecting the parameters of the motor-transmission unit car

¹ Kharkiv National Automobile and Highway University

²National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

³Vinnitsa National Technical University

Aerodynamic characteristics have a major impact on the energy efficiency and traction and speed properties of the vehicle.

In this article, based on previous studies of the aerodynamic characteristics of various car models, we propose an improved method for selecting engine and transmission parameters at the design stage.

The aim of the study is to improve the dynamic properties of the car by improving the method of selecting the main parameters of the engine-transmission unit by refining the calculation of aerodynamic drag. To achieve it, the following tasks must be solved: to specify the method of selecting the maximum effective engine power; to specify a technique of definition of the maximum constructive speed of the car; to develop a technique for selecting gear ratios.

The aerodynamic resistance to the movement of the vehicle is determined by the frontal coefficient of the specified resistance, the density of the air, the area of the frontal resistance and the speed of the vehicle. It is known from classical works on the aerodynamics of a car that in the range of vehicle speeds from 20 m / s to 80 m / s, taking the law of squares when assessing the force of air resistance, it is necessary to change the coefficient of frontal aerodynamic drag depending on the speed of the car. However, when carrying out calculations, this coefficient is taken constant, which leads to obtaining large values of the air resistance force at high speeds and lower at low speeds.

There are two possible ways to improve the dynamic properties and energy efficiency of the car during its modernization (increasing the maximum design speed of the car by reducing the gear ratio in higher gear; reducing the maximum efficiency of the engine while maintaining the previous gear ratio in higher gear).

As a result of the study, the method of selection (maximum effective engine power; maximum design speed of the car; gear ratios) at the design stage of the parameters of the motor-transmission unit of the car has been improved.

Key words: car, dynamic characteristics, engine parameters, engine-transmission installation, speed, gear ratios, aerodynamic drag

Podrigalo Mikhail – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department Machine Building Technology and Machine Repair, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Krasnokutskyi Volodymir – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Professor of the Department Automotive and Tractor Construction, e-mail: hvukvn62@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.

Tkachenko Olexander – postgraduate, Department Machine Building Technology and Machine Repair.

Yanchik Alexander – Ph. D. (Eng), Senior Researcher, Associate Professor of Occupational Safety and Environment, e-mail: alex_yanchik@ukr.net.

М. А. Подригало¹
 В. Н. Краснокутский²
 В. А. Кашканов³
 А. С. Ткаченко¹
 А. Г. Янчик²

Улучшение тягового-скоростных свойств совершенствованием метода выбора параметров моторно-трансмиссионной установки автомобиля

¹ Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

² Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

³ Винницкий национальный технический университет

Аэродинамические характеристики оказывают основное влияние на энергетическую эффективность и тягово-скоростные свойства автомобиля.

В настоящей статье, на основе ранее проведенных исследований аэродинамических характеристик различных моделей автомобилей, предложен усовершенствованный метод выбора параметров двигателя и трансмиссии на этапе проектирования.

Целью исследования является улучшение динамических свойств автомобиля путем совершенствования метода выбора основных параметров моторно-трансмиссионной установки за счет уточнения расчета аэродинамического сопротивления движению. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи: уточнить методику выбора максимальной эффективной мощности двигателя; уточнить методику определения максимальной конструктивной скорости автомобиля; разработать методику выбора передаточных чисел трансмиссии.

Аэродинамическое сопротивление движению автомобиля определяется лобовым коэффициентом указанного сопротивления, плотностью воздушной среды, площадью лобового сопротивления (миделем) и скоростью автомобиля. Из классических работ по аэродинамике автомобиля известно, что в диапазоне скоростей движения автомобилей от 20 м/с до 80 м/с, принимая закон квадратов при оценке силы сопротивления воздуха, следует изменять коэффициент лобового аэродинамического сопротивления в зависимости от скорости автомобиля. Однако, при проведении расчетов этот коэффициент принимают постоянным, что приводит к получению больших значений силы сопротивления воздуха при высоких скоростях и меньших – при малых.

Рассмотрены возможные два пути улучшения динамических свойств и энергоэффективности автомобиля при его модернизации (повышение максимальной конструктивной скорости автомобиля за счет снижения передаточного отношения трансмиссии на высшей передаче, снижение максимальной эффективности мощности двигателя при сохранении прежнего передаточного отношения трансмиссии на высшей передаче).

В результате проведенного исследования усовершенствован метод выбора (максимальной эффективной мощности двигателя; максимальной конструктивной скорости автомобиля; передаточных чисел трансмиссии) на стадии проектирования параметров моторно-трансмиссионной установки автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, динамические характеристики, параметры двигателя, моторно-трансмиссионная установка, скорость, передаточные числа, аэродинамическое сопротивление.

Подригало Михаил Абович – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Краснокутский Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автомобиле- и тракторостроение», e-mail: hvukvn62@gmail.com.

Кашканов Виталий Альбертович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: kash_2004@ukr.net.

Ткаченко Александр Сергеевич – аспирант, кафедра технологии машиностроения и ремонта машин.

Янчик Александр Григорьевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры безопасности труда и окружающей среды, e-mail: alex_yanchik@ukr.net.