

Подригало Михайло Абович, доктор техн. наук, професор  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
rmikhab@gmail.com

Кайдалов Руслан Олегович, доктор техн. наук, професор  
Національна академія Національної гвардії України  
kaidalov.76@ukr.net

Альокса Микола Миколайович, канд. техн. наук, доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
avtomob@khadi.kharkov.ua

Омельченко Василь Іванович, аспірант Харківського національного автомобільно-дорожнього університету  
Національна академія Національної гвардії України  
omel85@ukr.net

## АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ

Ефективність будь-якого автомобіля визначається його тягово-швидкісними якостями та паливною економічністю. Енергетична ефективність автомобіля визначається ступенем його аеродинамічності, який є предметом основної уваги при проектуванні форми його кузова.

Сила аеродинамічного опору та частина потужності двигуна, що витрачається на її подолання, залежить від коефіцієнта лобового опору та площі лобового перерізу (міделя) автомобіля. Довжина кузова автомобіля в цьому випадку в розрахунку не враховується, це дозволяє підвищити продуктивність та знизити собівартість перевезень за рахунок застосування довгобазних та багатовісних автомобілів, а також автомобільних поїздів.

Максимальна швидкість руху автомобіля  $V_{\max}$  залежить від максимальної ефективної потужності двигуна  $N_{e\max}$  та сили аеродинамічного опору. Якщо прийняти, що втрати на опір коченню ведучих коліс є внутрішніми втратами потужності в механізмі ходової частини [1], а ККД колісного рушія є компонентом миттєвого ККД трансмісії, то з рівності:

$$N_{e\max} \cdot \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} = P_w \cdot V_{\max}, \quad (1)$$

де  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  – миттєвий ККД трансмісії автомобіля;

$\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  – миттєвий ККД колісного рушія;

$V_{\max}$  – сила аеродинамічного опору.

В роботі [2] запропонована нова формула для розрахунку сили аеродинамічного опору руху автомобіля:

$$P_w = \frac{A_w}{2} S \cdot F \cdot V_a^{2-n}, \quad (2)$$

де  $A_w$  – коефіцієнт, чисельно рівний коефіцієнту аеродинамічного опору  $C_x$  при швидкості автомобіля  $V_a = 1$  м/с;

$n$  – показник ступеня в залежності  $C_x(V_a)$  [3, 2],

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^n}; \quad (3)$$

$S$  – щільність повітря.

В роботі [3] визначено, що величина  $A_w$  може знаходитися в межах від 1,8  $\left(\frac{M}{c}\right)^n$  до 11,41  $\left(\frac{M}{c}\right)^n$  в залежності від виду, класу та форми кузова автомобіля.

Показник ступеня  $n$  може змінюватися від величини 0,8 до величини 1,3 також в залежності від виду, класу та форми кузова автомобіля.

Максимальна сила аеродинамічного опору виникає при максимальній швидкості. У цьому випадку:

$$P_{w\max} = \frac{A_w}{2} S \cdot F \cdot V_{\max}^{2-n}; \quad (4)$$

Після підстановки (4) в (1) знаходимо максимальну швидкість автомобіля:

$$V_{\max} = \sqrt[3-n]{\frac{2 \cdot N_{e\max} \cdot \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}}{A_w \cdot S \cdot F}}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива при відсутності обмеження частоти обертання колінчастого валу і відповідних значеннях передатного числа трансмісії.

Коефіцієнт корисної дії колісного рушія [4,5] визначається наступної залежністю:

$$\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} = \left[ 1 - \frac{M_{\text{к2}}}{C_{\text{круг}}} \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\text{к2}}} \right) \right] \times \left[ n_2 \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\text{к2}}} \right) \right] - \quad (6)$$

$$- n_1 \frac{R_{z1} \cdot f \cdot R_d \cdot \omega_{\text{к2}}}{\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} N_e} \left( 1 + \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{круг}}}{f \cdot R_{z1} \cdot R_d}} \right).$$

де  $M_{\text{к2}}$ ;  $\omega_{\text{к2}}$  – сумарний крутний момент та кутова швидкість автомобіля;

$R_{z2}$  – сумарна нормальна реакція дороги на ведучі колеса однієї осі;

$R_{z1}$  – сумарна нормальна реакція дороги на ведені колеса однієї осі;

$f$  – коефіцієнт опору коченню;

$R_d$  – динамічний радіус коліс;

$C_{\text{круг}}$  – сумарна кругова жорсткість однієї пари коліс;

$n_1$ ;  $n_2$  – сумарна кількість осей з веденими та ведучими колесами, відповідно.

З урахуванням співвідношень (1) та (4):

$$E_w = \frac{m_{\text{п}}}{A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} \cdot V_{\max}^{n-1}. \quad (7)$$

Аналіз отриманого рівняння (7) показує, що збільшення параметрів  $A_w$  та  $F$  призводить до зменшення показника енергетичної ефективності автомобіля. Збільшення повної маси  $m_{\text{п}}$ , ККД трансмісії  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  та колісного рушія  $\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  веде до підвищення енергетичної ефективності автомобіля. Цікавий вплив швидкості автомобіля. При аеродинамічному параметрі  $n > 1$  зі зростанням максимальної швидкості автомобіля  $V_{\max}$  відбувається підвищення показника  $E_w$ , а при  $n < 1$ ,

навпаки – зниження. При  $n=1$  максимальна швидкість автомобіля  $V_{\max}$  не впливає на  $t$ .

Якщо використовувати багатовісний автомобіль, то при тих же параметрах  $N_{\max}$ ,  $A_w$ ,  $n$ ,  $F$ ,  $\eta_{\text{тр}}^{\text{MIT}}$  ККД колісного рушія  $\eta_{\text{руш}}^{\text{MIT}}$  буде менше та показник  $E_w$ , буде нижче, чим у двовісного автомобіля.

Для автомобільного поїзда вираз (7) прийме вигляд:

$$E_{\text{вп}} = \frac{m_{\text{п}} + \sum_{i=1} m_{\text{при}}}{Q \cdot A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{MIT}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{MIT}} \cdot V_{\max}^{n-1} \quad (8)$$

де  $\kappa$  – число причіпних ланок;

$m_{\text{при}}$  – маса  $i$ -ої причіпної ланки;

$Q$  – коефіцієнт збільшення лобового аеродинамічного опору автомобіля по відношенню до одиночного автомобіля.

Коефіцієнт  $Q$  можна представити у вигляді:

$$Q = 1,25\kappa, \quad (9)$$

та вираз (8) прийме вигляд:

$$E_{\text{вп}} = \frac{m_{\text{п}} + \sum_{i=1} m_{\text{при}}}{1,25\kappa \cdot A_w \cdot S \cdot F} \eta_{\text{тр}}^{\text{MIT}} \cdot \eta_{\text{руш}}^{\text{MIT}} \cdot V_{\max}^{n-1}. \quad (10)$$

Отриманий вираз (10) дозволяє провести оцінку енергетичної ефективності автомобільного поїзда.

В результаті проведеного дослідження визначено вплив аеродинамічних параметрів на показник енергетичної ефективності автомобіля. Визначено вплив причіпних ланок на енергетичну ефективність автомобільного поїзда.

### Список літератури

1. Aziz Abdulgaziz and Mikhail Podrigalo. A new approach to assessment of vehicle traction dynamics / A. Abdulgaziz, M. Podrigalo // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering.– 2020. 7 pp.DOI:101088/1757 – 899x/971/5/052100.
2. Метод рациональных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2012. – 220 с.
3. Тарасов Ю.В. Наукові основи забезпечення технічного рівня автотранспортних засобів при проектуванні та модернізації : автореф. дис. на здобуття наук. ступення докт. техн. наук: спец. 05.22.02 – автомобілі та трактори / Ю.В. Тарасов. – Харків, 2021. – 40 с.
4. Подригало М. А., Кайдалов Р.О, Омельченко В.І. Оцінка коефіцієнта корисної дії колісного рушія автомобіля // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Електронне наукове спеціалізоване видання. – Вип. 21: Харків, 2022. – с.31-39. DOI:10.30977/АТ/2019 – 8342.2022.21.08.
5. Підвищення енергоефективності автомобілів при маневруванні зниженням непродуктивних витрат енергії: автореф. дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец: 05.22.20 / Мазін О. С. – Харків, 2020. – 20 с.