

## АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОВІСНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА БАГАТОЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Національна академія Національної гвардії України

*Анотація.* У роботі визначено вплив аеродинамічних параметрів на показник енергетичної ефективності автомобіля. Визначено вплив причіпних ланок на енергетичну ефективність автомобільного поїзда. Зі збільшенням числа причіпних ланок відбувається збільшення маси вантажа, що перевозиться та зменшення ККД колісного рушія автопоїзда.

*Ключові слова:* енергетична ефективність, коефіцієнт корисної дії, автопоїзд, аеродинамічні параметри.

### Вступ

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.

### Результати дослідження

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:

$$\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}} = \left[ 1 - \frac{M_{\kappa 2}}{C_{\text{круг}}} \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\kappa 2}} \right) \right] \times \left[ n_2 \left( 1 - \frac{R_{z2} \cdot f \cdot R_d}{M_{\kappa 2}} \right) \right] - \quad (6)$$

$$- n_1 \frac{R_{z1} \cdot f \cdot R_d \cdot \omega_{\kappa 2}}{\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}} N_e} \left( 1 + \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{круг}}}{f \cdot R_{z1} \cdot R_d}} \right).$$

де  $M_{\kappa 2}$ ;  $\omega_{\kappa 2}$  – сумарний крутний момент та кутова швидкість автомобіля;

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

$R_{z1}$  – сумарна нормальна реакція дороги на ведені колеса одної 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  $N_{e\max}$ ,  $A_w$ ,  $n$ ,  $F$ ,  $\eta_{\text{тр}}^{\text{мит}}$  ККД колісного рушія  $\eta_{\text{руш}}^{\text{мит}}$  буде менше та показник  $E_w$ , буде нижче, чим у двовісного автомобіля.

Для автомобільного поїзда вираз (7) прийме вигляд:

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

де  $\kappa$  – число причіпних ланок;

$m_{\text{прі}}$  – маса і-ої причіпної ланки;

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

Коефіцієнт  $Q$  можна представити у вигляді:

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

та вираз (8) прийме вигляд:

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

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

### Висновки

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

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ 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.

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

**Кайдалов Руслан Олегович** – доктор технічних наук, професор, заступник начальника Національної академії Національної гвардії з наукової роботи, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>; e-mail: [kaidalov.76@ukr.net](mailto:kaidalov.76@ukr.net)

**Альокса Микола Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0568-4419>; e-mail: [avtomob@khadi.kharkov.ua](mailto:avtomob@khadi.kharkov.ua)

**Омельченко Василь Іванович** – начальник відділу міжнародних зв'язків, інформації та комунікації Національної академії Національної гвардії України, аспірант Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-7026>; e-mail: [omel85@ukr.net](mailto:omel85@ukr.net)

## ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF MULTY-AXLE AUTOMOBILES AND MULTY-LINK ROAD TRAINS

**Abstract.** The work determines the influence of aerodynamic parameters on the automobile's energy efficiency indicator. The impact of towing links on the energy efficiency of the automobile train is determined. With an increase in the number of towing links, there is an increase in the weight of the transported cargo and a decrease in the efficiency of the wheel drive of the road train.

**Key words:** energy efficiency, efficiency, road train, aerodynamic parameters

**Mykhailo Podryhalo** – Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technology of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

**Ruslan Kaidalov** – Doctor of Technical Sciences, Prof., Deputy Head of the National Academy of the National Guard of Ukraine for scientific work, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>; e-mail: [kaidalov.76@ukr.net](mailto:kaidalov.76@ukr.net)

**Mykola Aloksa** – Candidate of Technical Sciences, Associate Prof., Professor of the Department of Automobiles of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0568-4419>; e-mail: [avtomob@khadi.kharkov.ua](mailto:avtomob@khadi.kharkov.ua)

**Vasyl Omelchenko** – postgraduate student of the Kharkiv National Automobile and Highway University, Head of the Department of the National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-7026>; e-mail: [omel85@ukr.net](mailto:omel85@ukr.net)