

## РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ПІД ЧАС РІВНОМІРНОГО РУХУ

*Аль-Амморі А.Н.*, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

*Іщенко Р.М.*, кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rm\_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

*Верховецька І.М.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, lonelyspace@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-9063-9470

## CALCULATION OF POWER BALANCE OF ELECTRIC CAR DURING UNIFORM MOVEMENT

*Al-Ammouri A.N.*, Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

*Ishchenko R.M.*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, rm\_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

*Verkhovetska I.M.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, lonelyspace@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-9063-9470

### Постановка проблеми.

Відомо, що з кожним роком попит на електромобілі стрімко зростає. Останньому сприяє постійний розвиток нових технологій, що здешевлюють виробництво і експлуатацію вказаних транспортних засобів та роблять їх доступними для все більшого кола споживачів. Крім того, постійне зростання цін на органічне паливо (бензин, газ і дизпаливо) для автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння та значне погіршення екологічної ситуації у світі, спричинене, зокрема, масовими викидами шкідливих речовин автомобілями, також призвело до збільшення попиту на електромобілі, що є безпечними для навколишнього природного середовища. Необхідно відзначити, що електромобілі відмінно задовольняють потребу в переміщенні у міських умовах, для яких характерно наявність значної кількості світлофорів, а також тягнучок і заторів. Відповідно, рух в міських умовах здійснюється з невеликою швидкістю та на відносно невеликі відстані.

Основними технічними характеристиками електромобілів, які забезпечують їх конкурентоспроможність з автомобілями, є запас ходу (мінімум 300-400 км) і час перезарядки на електрозаправках (менше однієї години). Необхідно відзначити, що під час досліджень, спрямованих на вдосконалення зазначених технічних характеристик електромобілів, важливо мати інформацію про силовий, енергетичний та потужнісний баланс (який найбільше використовується на практиці) електромобіля під час його руху. Відповідно, питання розрахунку балансу потужності електромобіля на даний час є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як у вітчизняній, так і в закордонній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду різних методів і засобів вдосконалення технічних характеристик електромобілів та автомобілів з комбінованою енергоустановкою (гібридних автомобілів). Метою більшості вказаних робіт є збільшення запасу ходу зазначених транспортних засобів шляхом зменшення витрат електричної енергії акумулятора. Зокрема, у роботі [1] авторами отримано рівняння питомих витрат енергоносія під час руху транспортного засобу з електричною тяговою установкою за елементарним спрощеним циклом та отримано методику оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху. У роботі [2] запропоновано метод розрахунку балансу потужності під час руху гібридного автомобіля та визначено оптимальний алгоритм роботи комбінованої енергоустановки вказаного транспортного засобу для випадку міського циклу руху. Автором роботи [3] отримано просте співвідношення, що описує процес розгону автомобіля. До вказаного співвідношення входять лише чотири змінні величини – маса автомобіля, потужність двигуна, час і кінцева швидкість розгону. У роботі [4] представлено методику розрахунку необхідної потужності електродвигуна в залежності від величини часу розгону електромобіля до заданої швидкості руху. За словами авторів вказаної роботи, такий підхід дозволяє більш аргументовано

вибирати електродвигун та його основні технічні характеристики, зокрема, потужність та обертовий момент. У роботі [5] запропоновано метод підвищення запасу ходу електромобіля шляхом використання ефективного круїз-контролю, який, враховуючи дорожню обстановку, забезпечує рух транспортного засобу з оптимальною постійною швидкістю. При цьому зводяться до мінімуму втрати енергії на прискорення електромобіля. Для збільшення запасу ходу електромобіля у роботі [6] розроблено програму, яка допомагає водію вибрати оптимальний стиль водіння в залежності від погодних умов, якості дорожнього покриття, рівня заряду акумулятора та інших чинників.

Таким чином, з огляду науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання розрахунку балансу потужності електромобіля під час різних видів руху (рівномірного, рівноприскореного, зі змінним прискоренням) недостатньо досліджене, що актуалізує мету представленої роботи.

#### **Формування цілей статті.**

Враховуючи вищезазначене, мета статті полягає у дослідженні балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху та встановленні залежності значень потужностей електродвигуна, що витрачаються на подолання сили опору коченню та сили опору повітря від швидкості руху електромобіля.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Рівняння силового балансу під час руху електромобіля можна записати за допомогою другого закону Ньютона, врахувавши усі сили, що діють на вказаний транспортний засіб:

$$m\vec{a} = \vec{F}_m + \vec{F}_\kappa + \vec{F}_n + \vec{F}_{n\partial} + \vec{F}_i + m\vec{g} + \vec{N}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса електромобіля;

$a$  – прискорення електромобіля;

$F_m$  – сила тяги на ведучих колесах електромобіля;

$F_\kappa$  – сила опору коченню коліс електромобіля;

$F_n$  – сила опору повітря;

$F_{n\partial}$  – сила опору підйому;

$F_i$  – сила інерції, тобто сила опору розгону електромобіля;

$mg$  – сила тяжіння;

$N$  – сила реакції дороги на колеса електромобіля.

Сили тяжіння та реакції дороги спрямовані вертикально, тому їх проекції на горизонтальну вісь ОХ дорівнюють нулю. Крім того, під час рівномірного руху електромобіля по горизонтальній дорозі його швидкість не змінюється з часом, відповідно прискорення, сила опору підйому та сила інерції дорівнюють нулю. Отже, з урахуванням того, що сили опору коченню та опору повітря спрямовані проти руху електромобіля (тобто будуть зі знаком мінус), рівняння силового балансу електромобіля, що рухається з постійною швидкістю, записується у наступному вигляді:

$$F_m = F_\kappa + F_n. \quad (2)$$

Сила опору коченню коліс електромобіля визначається співвідношенням [7, с. 6]:

$$F_\kappa = m \cdot g \cdot f_k, \quad (3)$$

$m$  – маса електромобіля;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$f_k$  – коефіцієнт опору коченню.

Сила опору повітря під час руху електромобіля визначається співвідношенням [8, с. 176]:

$$F_n = \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2}{2}, \quad (4)$$

де  $\rho$  – густина повітря;

$C_x$  – коефіцієнт опору повітря, що визначається окремо для кожного типу кузова транспортного засобу;

$S$  – лобова площа електромобіля, тобто площа проекції електромобіля на площину, перпендикулярну до його повздовжньої осі;

$v$  – швидкість руху електромобіля.

Отже, з врахуванням формул (3) і (4), рівняння силового балансу електромобіля під час рівномірного руху буде мати вигляд:

$$F_m = m \cdot g \cdot f_k + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2}{2}. \quad (5)$$

Необхідно відзначити, що на практиці більше використовується рівняння балансу потужності транспортного засобу. Рівняння балансу потужності показує, як розподіляється потужність, що підводиться до ведучих коліс електромобіля, під час подолання різних опорів руху. Як відомо із загального курсу фізики [9, с. 32], потужність дорівнює добутку сили, прикладеної до тіла, на його швидкість. Відповідно, складові рівняння балансу потужності електромобіля можна отримати шляхом почленного множення складових рівняння силового балансу на швидкість електромобіля:

$$P(v) \cdot \eta_{mp} = F_m \cdot v, \quad (6)$$

$$P_k = F_k \cdot v = m \cdot g \cdot f_k \cdot v, \quad (7)$$

$$P_n = F_n \cdot v = \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^3}{2}, \quad (8)$$

де  $P(v)$  – потужність електродвигуна електромобіля, необхідна для руху зі швидкістю  $v$ ;

$\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії електромобіля;

$P_k$  – потужність, що витрачається на подолання сили опору коченню;

$P_n$  – потужність, що витрачається на подолання сили опору повітря.

Тоді рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху записується у вигляді:

$$P(v) \cdot \eta_{mp} = P_k + P_n. \quad (9)$$

Поділивши обидві частини рівняння (9) на ККД трансмісії  $\eta_{mp}$ , та з врахуванням формул (7) і (8), остаточно отримаємо рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху:

$$P(v) = \frac{1}{\eta_{mp}} \left( m \cdot g \cdot f_k \cdot v + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^3}{2} \right). \quad (10)$$

Таким чином, отримане співвідношення (10) може використовуватися для розрахунку потужності електродвигуна електромобіля, що необхідна для його рівномірного руху з заданою швидкістю. Як видно зі співвідношення (10), зміна потужності електродвигуна з часом визначається лише зміною швидкості електромобіля. Інші технічні характеристики електромобіля, що входять до формули (10), не змінюються з часом.

Необхідно відзначити, що коефіцієнт опору коченню  $f_k$ , що враховується під час розрахунку потужності, яка витрачається на подолання сили опору коченню, головним чином залежить від стану і типу дорожнього покриття, типу шини і швидкості транспортного засобу. Крім того, коефіцієнт опору коченню залежить від тиску і температури шини, величини зносу протектора шини, навантаження на колесо, величини прикладеного до колеса моменту та інших чинників [10]. У науково-технічній літературі представлено ряд співвідношень, за якими розраховується коефіцієнт опору коченню. У даній роботі вказану фізичну величину розраховано за найбільш використовуваною емпіричною залежністю другого порядку [11, с. 101], згідно з якою значення коефіцієнта опору коченню залежить від квадрату швидкості електромобіля:

$$f_k = f_0 \left( 1 + \frac{v^2}{1500} \right), \quad (11)$$

де  $f_0 = 0.015$  – коефіцієнт опору коченню під час малої швидкості руху (до 30 км/год);

$v$  – швидкість руху транспортного засобу, м/с.

У таблиці 2 наведено значення коефіцієнта опору коченню для діапазону швидкостей руху електромобіля від 10 км/год до 100 км/год, що розраховані за формулою (11).

У даній роботі виконано розрахунок балансу потужності для поширеного у нашій країні електромобіля Nissan Leaf [12]. Технічні характеристики вказаного електромобіля та фізичні сталі, що використовувалися під час розрахунку балансу потужності, наведено в таблиці 1.

Значення маси електромобіля, що використовувалося під час розрахунку балансу потужності, було визначене з наступних міркувань. Оскільки маса спорядженого електромобіля Nissan Leaf (модель з електродвигуном потужністю 80 кВт) становить 1567 кг, а дозволена максимальна маса такого електромобіля дорівнює 1965 кг, то під час розрахунку було взято усереднене і заокруглене

значення – 1800 кг. Тобто під час розрахунку було використано значення маси частково завантаженого електромобіля.

Таблиця 1 – Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf та фізичні сталі  
Table 1 – Technical characteristics of the electric car Nissan Leaf and physical constants

| Легковий електромобіль Nissan Leaf    |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Тип кузова електромобіля              | 5-дв. хетчбек (5 місць)         |
| Максимальна потужність електродвигуна | $P = 80$ кВт (109 к. с.)        |
| ККД трансмісії електромобіля          | $\eta_{mp} = 0.92$              |
| Маса електромобіля                    | $m = 1800$ кг                   |
| Коефіцієнт опору повітря              | $C_x = 0.29$                    |
| Лобова площа електромобіля            | $S = 1.62$ м <sup>2</sup>       |
| Прискорення вільного падіння          | $g = 9.81$ м/с <sup>2</sup>     |
| Густина повітря                       | $\rho = 1.23$ кг/м <sup>3</sup> |

Розраховані значення потужностей електродвигуна електромобіля Nissan Leaf, що витрачаються на подолання сили опору коченню  $P_k$  та сили опору повітря  $P_n$ , а також значення потужності електродвигуна  $P(v)$ , необхідне для рівномірного руху електромобіля з заданою швидкістю, наведено у таблиці 2. Вказані потужності розраховані за формулами (7), (8) і (10) відповідно. Усі розрахунки виконано з використанням одиниць вимірювання SI (System International). Крім того, в таблиці 2 наведено значення відносних потужностей електродвигуна електромобіля  $P_k/P(v)$  і  $P_n/P(v)$  у відсотках.

Таблиця 2 – Значення потужностей електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху  
Table 2 – The value of the powers of the electric car Nissan Leaf during uniform movement

| Швидкість |      | $f_k$ | $P_k$ , кВт | $P_n$ , кВт | $P(v)$ , кВт | $P_k/P(v)$ , % | $P_n/P(v)$ , % |
|-----------|------|-------|-------------|-------------|--------------|----------------|----------------|
| км/год    | м/с  |       |             |             |              |                |                |
| 10        | 2.8  | 0.015 | 0.74        | 0.006       | 0.81         | 91.4           | 0.7            |
| 20        | 5.6  | 0.015 | 1.48        | 0.05        | 1.66         | 89.2           | 3.0            |
| 30        | 8.3  | 0.016 | 2.34        | 0.17        | 2.73         | 85.7           | 6.2            |
| 40        | 11.1 | 0.016 | 3.14        | 0.40        | 3.85         | 81.6           | 10.4           |
| 50        | 13.9 | 0.017 | 4.17        | 0.78        | 5.38         | 77.5           | 14.5           |
| 60        | 16.7 | 0.018 | 5.31        | 1.35        | 7.24         | 73.3           | 18.6           |
| 70        | 19.4 | 0.019 | 6.51        | 2.12        | 9.38         | 69.4           | 22.6           |
| 80        | 22.2 | 0.020 | 7.84        | 3.17        | 11.97        | 65.5           | 26.5           |
| 90        | 25.0 | 0.021 | 9.27        | 4.53        | 15.00        | 61.8           | 30.2           |
| 100       | 27.8 | 0.023 | 11.29       | 6.23        | 19.04        | 59.3           | 32.7           |

Необхідно відзначити, що 8 % потужності електродвигуна електромобіля витрачається на трансмісію, оскільки ККД трансмісії становить 0.92 і не залежить від швидкості руху транспортного засобу. Решта потужності електродвигуна витрачається на подолання сил опору коченню та опору повітря в процесі рівномірного руху електромобіля.

На рисунку 1 у вигляді діаграми представлено залежність значень відносних потужностей електродвигуна електромобіля Nissan Leaf, що витрачаються на подолання сили опору коченню  $P_k/P(v)$  та сили опору повітря  $P_n/P(v)$ , від швидкості руху електромобіля. Як видно з рисунку 1, під час рівномірного руху зі швидкістю до 40 км/год відносна потужність, що витрачається на подолання сили опору повітря, не перевищує 10 %. Тобто, під час рівномірного руху зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Зі збільшенням швидкості електромобіля відносна потужність, що витрачається на подолання сили опору повітря, суттєво зростає і під час руху зі швидкістю 100 км/год складає 32.7 %.

У той же час, відносна потужність, що витрачається на подолання сили опору коченню, під час руху зі швидкістю 100 км/год дорівнює 59.3 %. Отже, під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю більше 40 км/год, суттєвими стають витрати потужності електродвигуна, спрямовані як на подолання сили опору коченню, так і на подолання сили опору повітря.

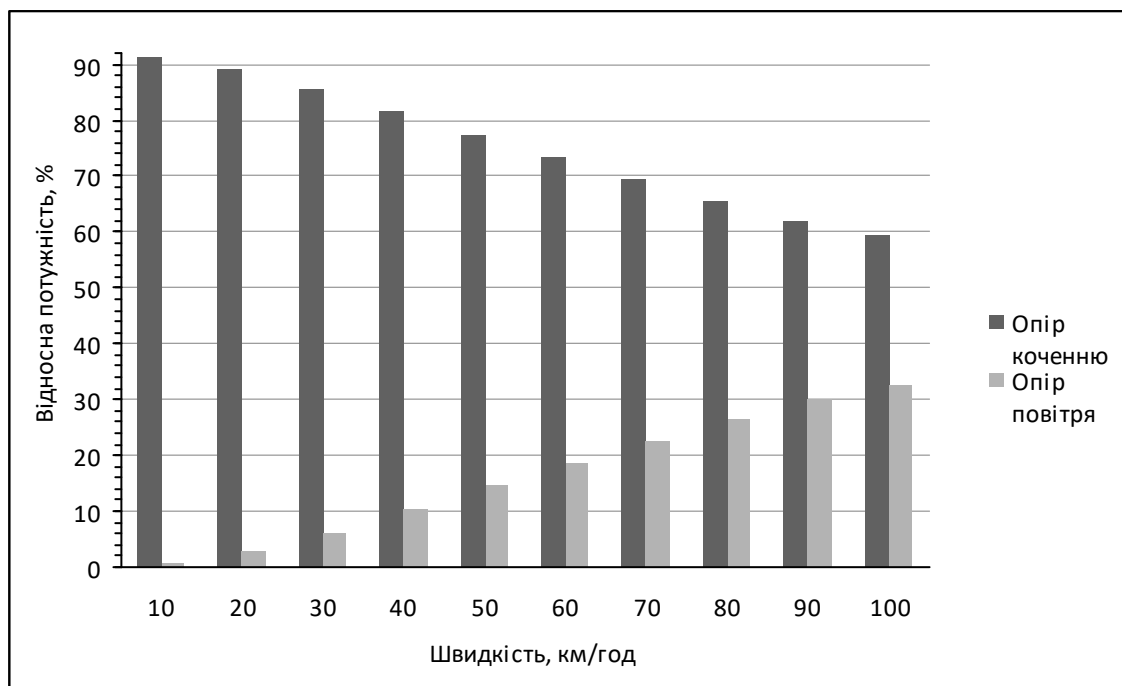


Рисунок 1 – Залежність значень відносних потужностей від швидкості електромобіля  
Figure 1 – Dependence of relative power values on the speed of the electric car

Результати проведеного розрахунку балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем шляхом врахування витрат потужності електродвигуна на подолання сил опору коченню та опору повітря. Останнє може призвести до зменшення витрат електричної енергії акумулятора та, відповідно, покращення однієї з основних технічних характеристик електромобіля – запасу ходу.

#### **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

Таким чином, у роботі отримано рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху. Ключовою змінною величиною в рівнянні балансу потужності є швидкість руху електромобіля. З використанням вищезазначеного рівняння розраховано баланс потужності електромобіля Nissan Leaf (модель з електродвигуном потужністю 80 кВт) під час рівномірного руху. Встановлено, що під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю, що перевищує 40 км/год, також стають суттєвими витрати потужності електродвигуна, спрямовані на подолання сили опору повітря. Відзначено, що результати виконаного розрахунку балансу потужності електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем та вибору оптимального стилю водіння вказаного транспортного засобу, що може призвести до зменшення витрат електричної енергії акумулятора та збільшення запасу ходу електромобіля.

У наступній роботі планується розглянути спосіб отримання додаткової електричної енергії під час механічних коливань електромобіля, що виникають у процесі його руху.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Будніченко В.Б. Методика оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху / В.Б. Будніченко, М.М. Гордієнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 1 (48). – С. 37-43. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-037-043.
2. Ломакин В.В. К расчету баланса мощности комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля / В.В. Ломакин, А.В. Шабанов, А.А. Шабанов // Исследования, конструкции, технологии. – 2014. – № 1 (84). – С. 24-27.
3. Пожидаєв С.П. Оцінка енергетичного ККД автомобіля під час розгону / С.П. Пожидаєв // Техніка і технології АПК. – 2016. – № 7 (82). – С. 26-30.

4. Sapundzhiev M. Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car / M. Sapundzhiev, I. Evtimov, R. Ivanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 252. – P. 012063 (7). DOI:10.1088/1757-899X/252/1/012063.
5. Madhusudhanan A.K. A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control / A.K. Madhusudhanan // European Journal of Control. – 2019. – Vol. 48. – P. 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006.
6. The possibilities of increasing the electric vehicle range / M. Mruzeka, I. Gajdaca, L. Kucera, T. Gajdosik // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 192. – P. 621-625.
7. Нуждин Р.В. Тяговый расчет автомобиля: методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Конструкция и потребительские свойства автомобилей» / Р.В. Нуждин. – Владимир: Издательство ВлГУ, 2018. – 36 с.
8. Аль-Амморі А.Н. Методи і засоби підвищення ефективності використання відновлювальних джерел енергії на транспорті: монографія / А.Н. Аль-Амморі, П.С. Соченко. – Київ: НТУ, 2014. – 220 с.
9. Фізика і транспорт: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, Ю.П. Гололобов, І.Р. Зачек, В.М. Габа, І.Є. Мороз. – Львів: Українська академія друкарства, 2014. – 328 с.
10. Гащук П.М. Феноменологічне й модельне означення поняття «коефіцієнт опору коченню» колеса транспортної машини / П.М. Гащук, С.В. Нікіпчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2013. – № 759. – С. 16-25.
11. Солтус А.П. Визначення коефіцієнта опору коченню колеса з еластичною шиною по недеформованій поверхні / А.П. Солтус, Е.С. Клімов, В.І. Пилипенко // Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 2. – Част. 1. – С. 99-104.
12. Технические характеристики электромобиля Nissan Leaf [Электронный ресурс] // Info Car. – 2021. – Режим доступа: [https://nissan-leaf.infocar.ua/mod\\_3692\\_leaf\\_id903.html](https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3692_leaf_id903.html).

## REFERENCES

1. Budnichenko, V.B., Hordiyenko, M.M. (2021). Metodyka otsinyuvannya efektyvnosti rekuperatyvnoho halmuvannya dlya elementarnoho sproshchenoho tsyklu rukhu [Methods for evaluating the effectiveness of recuperative braking for elementary simplified motion cycle]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky". Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk – Bulletin of the National Transport university. "Technical Sciences" series. Scientific and technical collection, 1 (48), 37-43. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-037-043 [in Ukrainian].
2. Lomakin, V.V., Shabanov, A.V., Shabanov, A.A. (2014). K raschetu balansa moshchnosti kombinirovannoy energoustanovki gibridnogo avtomobilya [To the calculation of the power balance of the combined power plant of a hybrid car]. Issledovaniya, konstruksii, tekhnologii – Research, designs, technologies, 1 (84), 24-27 [in Russian].
3. Pozhydayev, S.P. (2016). Otsinka enerhetychnoho KKD avtomobilya pid chas rozhonu [Estimation of energy efficiency of the car during acceleration]. Tekhnika i tekhnolohiyi APK – Machinery and Technologies of Agro-Industrial Complex, 7 (82), 26-30 [in Ukrainian].
4. Sapundzhiev, M., Evtimov, I., Ivanov, R. (2017). Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252, 012063 (7). DOI:10.1088/1757-899X/252/1/012063 [in English].
5. Madhusudhanan, A.K. (2019). A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control. European Journal of Control, 48, 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006 [in English].
6. Mruzeka, M., Gajdaca, I., Kucera, L., Gajdosik, T. (2017). The possibilities of increasing the electric vehicle range. Procedia Engineering, 192, 621-625 [in English].
7. Nuzhdin, RV. (2018). Tyagovyy raschet avtomobilya. Metodicheskiye ukazaniya. [Traction calculation of the car. Guidelines ]. Vladimir: Izdatelstvo VIGU. 36 p. [in Russian].
8. Al-Ammouri, A.N., Sochenko, P.S. (2014). Metody i zasoby pidvyshchennya efektyvnosti vykorystannya vidnovlyuvalnykh dzherel enerhiyi na transporti. Monohrafiya. [Methods and means of increasing the efficiency of the use of renewable energy sources in transport. Monograph]. Kyiv: NTU. 220 p. [in Ukrainian].
9. Dmytrychenko, M.F., Gololobov, Yu.P., Zachek, I.R., Haba, V.M., Moroz, I.Ye. (2014). Fyzyka i transport. Navchalnyy posibnyk. [Physics and transport. Tutorial]. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva. 328 p. [in Ukrainian].

10.Hashchuk, P.M., Nikipchuk, S.V. (2013). Fenomenologichne i modelne oznachennya ponyattya "koefitsiyent oporu kochennyyu" kola transportnoyi mashyny [Phenomenological and model definition of the concept of "rolling resistance coefficient" of the wheel of a transport machine]. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika" – Bulletin of the National university "Lviv Polytechnic", 759, 16-25 [in Ukrainian].

11.Soltus, A.P., Klimov, E.S., Pylypenko, V.I. (2011). Vyznachennya koefitsiyenta oporu kochennyyu kola z elastychnoyu shynoyu po nedeformovaniy poverkhni [Determination of the coefficient of rolling resistance of a wheel with an elastic tire on an undeformed surface]. Visnyk Kremenchutskoho Natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho – Bulletin of Kremenchuk National university named after Mykhailo Ostrogradskiy, 2 (1), 99-104 [in Ukrainian].

12.Tekhnicheskiye kharakteristiki elektromobilya Nissan Leaf [Technical characteristics of electric car Nissan Leaf]. (2021). Info Car. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: [https://nissan-leaf.infocar.ua/mod\\_3692\\_leaf\\_id903.html](https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3692_leaf_id903.html) [in Russian].

## РЕФЕРАТ

Аль-Аммори А.Н. Розрахунок балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху / А.Н. Аль-Аммори, Р.М. Іщенко, І.М. Верховецька // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті отримано рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху. Ключовою змінною величиною в рівнянні балансу потужності є швидкість руху електромобіля.

Об'єкт дослідження – баланс потужності електромобіля під час рівномірного руху.

Мета роботи – дослідження балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху та встановлення залежності значень потужностей електродвигуна, що витрачаються на подолання сили опору коченню та сили опору повітря від швидкості руху електромобіля.

Методи дослідження – для досягнення мети роботи використовувалися наступні методи: аналіз, синтез, систематизація, узагальнення, формулювання висновків.

У роботі розраховано баланс потужності електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху. Встановлено, що під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю, що перевищує 40 км/год, також стають суттєвими витрати потужності електродвигуна, спрямовані на подолання сили опору повітря.

Результати статті можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем та вибору оптимального стилю водіння вказаного транспортного засобу. Також результати роботи можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки майбутніх фахівців транспортної галузі.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розгляд способу отримання додаткової електричної енергії під час механічних коливань електромобіля, що виникають у процесі його руху.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ, РІВНОМІРНИЙ РУХ, СИЛА ОПОРУ КОЧЕННЮ, СИЛА ОПОРУ ПОВІТРЯ.

## ABSTRACT

Al-Ammouri A.N., Ishchenko R.M., Verkhovetska I.M. Calculation of power balance of electric car during uniform movement. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

In this paper the equation of the power balance of the electric car during uniform movement is received. The key variable in the power balance equation is the speed of the electric car.

The object of the study – power balance of the electric car during uniform movement.

Purpose of the study – investigation of the balance of power of the electric car during uniform movement and establishment of dependence of values of powers of the electric motor which are spent on overcoming of force of resistance to rolling and force of resistance of air on speed of movement of the electric car.

Method of the study – for the purpose of the study, the following methods were used: analysis, synthesis, systematization, generalization, formulation of conclusions.

In this work the power balance of the Nissan Leaf electric car during uniform movement is calculated. It is established that during the uniform movement of the electric car at a speed of up to 40 km/h the main power consumption of the electric motor is aimed at overcoming the rolling resistance. During the steady

movement of the electric car at a speed exceeding 40 km/h, the power consumption of the electric motor aimed at overcoming the force of air resistance also becomes significant.

The results of the article can be used in the development of effective control systems for electric car and the selection of the optimal driving style of the specified vehicle. Also, the results of the work can be introduced into the educational process during the teaching of disciplines of the cycle of professional training of future specialists in the transport industry.

Forecast assumptions about the object of study – consideration of the method of obtaining additional electrical energy during mechanical vibrations of the electric car that occur during its movement.

**KEY WORDS:** ELECTRIC CAR, POWER BALANCE, UNIFORM MOVEMENT, FORCE OF ROLLING RESISTANCE, FORCE OF AIR RESISTANCE.

#### **АВТОРИ:**

Аль-Амморі Алі Нурддинович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. +380442846709, +380983556786, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Іщенко Руслан Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: rm\_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Верховецька Інна Миколаївна, Національний транспортний університет, аспірантка кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: lonelyspace@bigmir.net, тел. +380442846709, +380961223849, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 207, orcid.org/0000-0001-9063-9470.

#### **AUTHORS:**

Al-Ammouri Ali N., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, head of department of Information analysis and information security, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. +380442846709, +380983556786, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Ishchenko Ruslan M., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: rm\_ischenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380673187955, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Verkhovetska Inna M., National Transport University, postgraduate student of department of Information analysis and information security, e-mail: lonelyspace@bigmir.net, tel. +380442846709, +380961223849, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 207, orcid.org/0000-0001-9063-9470.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Манько Д.Ю., кандидат фізико-математичних наук, Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, старший науковий співробітник, Київ, Україна.

#### **REVIEWER:**

Danchuk V.D., doctor of physical and mathematical sciences, professor, National Transport University, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Manko D. Yu., candidate of physical and mathematical sciences, Institute for Information Recording National Academy of Sciences of Ukraine, researcher, Kyiv, Ukraine.