

УДК 621.833.67

Р. О. КАЙДАЛОВ

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ КОЛІСНОЇ МАШИНИ

Досліджено енергетичні витрати у трансмісії колісних машин з вбудованими електричними акумуляторами, що дозволяють зменшити коливання крутного моменту й кутової швидкості на колесах, що обумовлено коливаннями сили струму й напруги на виході генератора. Оцінено додаткові витрати енергії двигуна внутрішнього згорання у механічній та електричній трансмісіях.

Ключові слова: витрати енергії, електрична трансмісія, коливання тягової сили, колісна машина.

Исследованы энергетические затраты в трансмиссии колесных машин со встроенными электрическими аккумуляторами, которые позволяют уменьшить колебания крутящего момента и угловой скорости на колесах, вызванных колебаниями силы тока и напряжения на выходе генератора. Оценены дополнительные затраты энергии двигателя внутреннего сгорания в механической и электрической трансмиссиях.

Ключевые слова: затраты энергии, электрическая трансмиссия, колебания тяговой силы, колесная машина.

The energy costs in the transmission of wheeled vehicles with built-in electric accumulators have been studied, which allow reducing fluctuations in the torque and angular velocity on the wheels caused by fluctuations in the current and voltage at the output of the generator. Estimated additional energy costs of the internal combustion engine in the mechanical and electrical transmissions. The scheme of electric transmission of a wheeled vehicle with an integrated battery is presented. Dependences of the efficiency coefficients of electric transmission and the internal combustion engine are shown for different values of the number of cylinders.

Keywords: energy costs, electric transmission, power train oscillations, wheeled vehicle.

Вступ. Колісна техніка складає основу парку засобів рухомості практично усіх об'єктів озброєння та техніки, що забезпечує тактичну і оперативну маневреність військ при виконанні ними службово-бойових завдань. Проведений аналіз тактико-технічних характеристик існуючих зразків колісних машин, що мають механічні трансмісії, свідчить про їх недостатній запас тягової сили, низькі показники динамічності та маневреності.

Використання механічної трансмісії з тепловим двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ), якому притаманні наступні властивості: низький коефіцієнт корисної дії (ККД); значний час на підготовку до руху; демаскуючий звук; високу нерівномірність крутного моменту, що призводить до непродуктивних додаткових витрат енергії на рух, показує на важливість модернізації приводу ведучих коліс, саме для військової колісної техніки [1]. Альтернативою використання механічної трансмісії для існуючих колісних машин – електрична трансмісія, що набуває популярність в останні роки, особливо для гібридних автомобілів [2]. Основна причина доцільності використання технології електричного приводу ведучих коліс – нові характеристики і якості, які може набути колісна машина, особливо при військовій експлуатації.

Застосування електричної трансмісії дозволяє отримати значну кількість переваг перед механічними трансмісіями, а саме: збільшення ККД, покращення динаміки розгону, наявність додаткового запасу потужності, підвищення надійності, забезпечення скритного (безшумного) режиму руху у тому числі й знизити додаткові витрати на рух колісних машин, що викликані нерівномірністю дії крутного моменту у ДВЗ [3].

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Визначенню впливу нерівномірності крутного моменту ДВЗ на показники динамічності й енергетичні втрати автомобіля присвячені роботи [4–8].

У роботі [4] визначено, що додаткові втрати енергії ΔW двигуна на рух автомобіля, які викликані коливаннями тягової сили на колесах, визначаються наступною залежністю:

$$\Delta W = \frac{A_{P_k}}{\pi} \cdot S, \quad (1)$$

де A_{P_k} – амплітуда коливань тягової сили;
 S – пробіг автомобіля.

При сталому русі автомобіля у випадку використання гібридного електромеханічного приводу [8] вказані вище додаткові витрати енергії можуть бути визначені як

$$\Delta W = \frac{K_1}{2\pi} \sum P_0 \cdot S \left(1 - \frac{M_{ed} \cdot n}{r_d \cdot \sum P_0} \right), \quad (2)$$

де K_1 – коефіцієнт нерівномірності крутного моменту ДВЗ [6, 7],

$$K_1 = 0,08 + \frac{14,44}{i_u}; \quad (3)$$

i_u – число циліндрів ДВЗ;

$\sum P_0$ – сума сил зовнішнього опору руху автомобіля;

M_{ed} – момент, що приведений до колеса від електродвигуна;

n – число ведучих коліс автомобіля;

r_d – динамічний радіус колеса ведучих коліс автомобіля.

У роботі [8] запропонований відносний показник додаткових витрат енергії, які викликані нерівномірністю дії тягової сили на колесах

$$\eta_{\Delta W} = \frac{\Delta W}{A_0} = \frac{0,04 + \frac{7,22}{i_u}}{\pi} (1 - K_{ed}), \quad (4)$$

де A_0 – робота сил зовнішнього опору руху автомобіля,

$$A_0 = S \cdot \sum P_0; \quad (5)$$

K_{ed} – доля крутного моменту на колесах, що створюється електродвигуном,

$$K_{ed} = \frac{M_{ed} \cdot n}{r_d \cdot \sum P_0}. \quad (6)$$

У роботі [8] показано, що зі збільшенням коефіцієнта K_{ed} відбувається зменшення показника $\eta_{\Delta W}$. При $K_{ed} = 1$ (тобто при повністю електричній трансмісії) величина $\eta_{\Delta W} = 0$. Однак у електричній трансмісії виникають додаткові втрати енергії, які викликані перетворенням механічної енергії в електричну й електричної у механічну, що не було враховано у роботі [8].

Мета та постановка завдань дослідження. Метою дослідження є оцінювання ефективності застосування електричної трансмісії автомобілів з ДВЗ у якості джерела енергії. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання щодо визначення й порівняння додаткових витрат

енергії ДВЗ в механічній й електричній трансмісіях.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 представлена схема електричної трансмісії автомобіля з вбудованим електричним акумулятором.

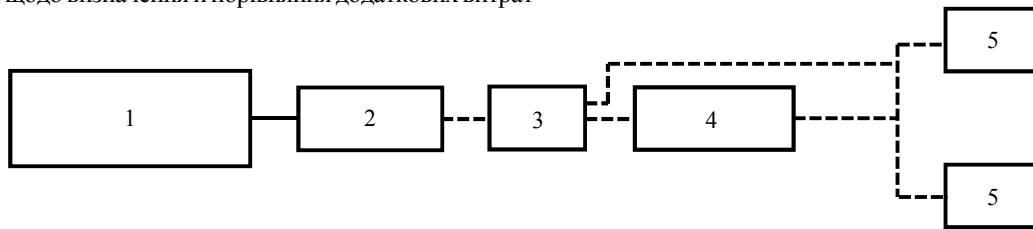


Рис. 1 – Схема електричної трансмісії автомобіля з вбудованим електричним акумулятором:
1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – генератор; 3 – блок комутації; 4 – акумулятор;
5 – електричний двигун приводу ведучого колеса; – – механічний привід; --- – електричний привід

Амплітуда коливань тягової сили на колесах автомобіля [2, 8] з механічною трансмісією

$$A_{P_k} = \frac{U_{mp} \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_{мдв}}{2 \cdot r_{\partial}} \cdot K_1 \cdot \overline{M}_i, \quad (7)$$

де U_{mp} ; η_{mp} – передаточне відношення й коефіцієнт корисної дії (ККД) механічної трансмісії;
 $\eta_{мдв}$ – механічний ККД ДВЗ;
 \overline{M}_i – середній індикаторний крутний момент ДВЗ.

Додаткові витрати енергії, що викликані коливаннями тягової сили на колесах, визначаються після підстановки виразу (7) у рівняння (1) з врахуванням (3) [9, 10]

$$\Delta W = \frac{U_{mp} \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_{мдв}}{\pi \cdot r_{\partial}} \cdot \left(0,04 + \frac{7,2}{i_{\psi}}\right) \cdot \overline{M}_i \cdot S. \quad (8)$$

Середній індикаторний крутний момент ДВЗ може бути визначений як

$$\overline{M}_i = \frac{\overline{N}_i}{\omega_e} = \frac{\overline{N}_i \cdot r_{\partial}}{V_a \cdot U_{mp}}, \quad (9)$$

де \overline{N}_i – середня індикаторна потужність ДВЗ;
 ω_e – кутова швидкість вихідного валу ДВЗ;
 V_a – лінійна швидкість автомобіля.

Після підстановки (9) у (8) отримаємо

$$\Delta W = \frac{\overline{N}_i}{V_a} \cdot \frac{\eta_{mp} \cdot \eta_{мдв}}{\pi} \cdot \left(0,04 + \frac{7,2}{i_{\psi}}\right) \cdot S. \quad (10)$$

При дослідженні електричного приводу ведучих коліс величина $A_p = 0$ й $\Delta W = 0$. Однак у цьому випадку з'являються втрати енергії, що викликані подвійним перетворенням енергії

$$\Delta W_{e,mp} = \int_0^t \overline{N}_i (1 - \eta_{мдв} \cdot \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв}) dt, \quad (11)$$

де $\eta_{ген}$; $\eta_{акб}$; $\eta_{едв}$ – ККД генератора, акумулятора та електродвигуна, відповідно;
 t – час.

При згладжуванні коливань потужності ДВЗ за рахунок застосування акумуляторів можна прийняти допущення того, що

$$\overline{N}_i = N_i = \text{const}. \quad (12)$$

У цьому випадку

$$t = \frac{S}{V_a}, \quad (13)$$

й вираз (11) прийме вигляд

$$\Delta W_{e,mp} = \frac{\overline{N}_i}{V_a} (1 - \eta_{мдв} \cdot \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв}) \cdot S. \quad (14)$$

Економія енергії двигуна (індикаторної)

$$\Delta W_i = \Delta W - \Delta W_{e,mp} = \frac{\overline{N}_i}{V_a} \times \left[\frac{\eta_{mp} \cdot \eta_{мдв}}{\pi} \cdot \left(0,04 + \frac{7,2}{i_{\psi}}\right) + \right. \\ \left. + \eta_{мдв} \cdot \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв} - 1 \right] \cdot S. \quad (15)$$

При врахуванні ефективної потужності ДВЗ

$$\overline{N}_e = \overline{N}_i \cdot \eta_{мдв}. \quad (16)$$

У цьому випадку вираз (15) перетворимо до вигляду

$$\Delta W_i = \frac{\overline{N}_e}{V_a} \cdot \left[\frac{\eta_{mp}}{\pi} \cdot \left(0,04 + \frac{7,2}{i_{\psi}}\right) + \right. \\ \left. + \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв} - \frac{1}{\eta_{мдв}} \right] \cdot S. \quad (17)$$

Із рівняння (17) видно, що величина $\Delta W_i > 0$ при виконанні умови

$$\frac{\eta_{mp}}{\pi} \cdot \left(0,04 + \frac{7,2}{i_{\psi}}\right) + \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв} - \frac{1}{\eta_{мдв}} > 0. \quad (18)$$

Звідси визначимо

$$i_{\psi} < \frac{7,22}{\frac{\pi}{\eta_{mp}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{мдв}} - \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв}\right) - 0,04}. \quad (19)$$

Позначимо через ККД електричної трансмісії вираз

$$\eta_{e,mp} = \eta_{ген} \cdot \eta_{акб} \cdot \eta_{едв}. \quad (20)$$

У цьому випадку (19) прийме вигляд

$$i_{\psi} < \frac{7,22}{\frac{\pi}{\eta_{mp}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{мдв}} - \eta_{e,mp}\right) - 0,04}. \quad (21)$$

Механічний ККД двигуна внутрішнього згорання коливається у межах [11] $\eta_{мдв} = 0,65 - 0,9$. ККД механічної трансмісії [12] $\eta_{мп} = 0,85 - 0,88$. На рис. 2 та 3

наведено графіки залежності $i_{ц}(\eta_{е.мп})$, побудовані при різних значеннях $\eta_{мдв}$.

Заштрихована зона на рис. 2 та 3 показує, де виконується умова (21).

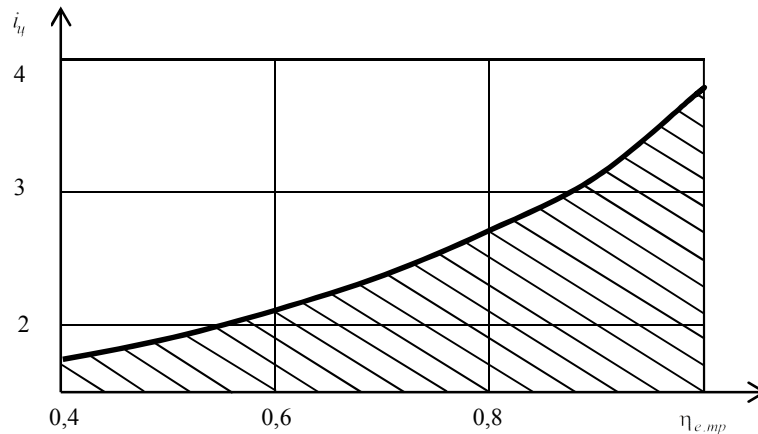


Рис. 2 – Залежність $i_{ц}(\eta_{е.мп})$, побудована при значенні $\eta_{мдв} = 0,65$ й $\eta_{мп} = 0,85$

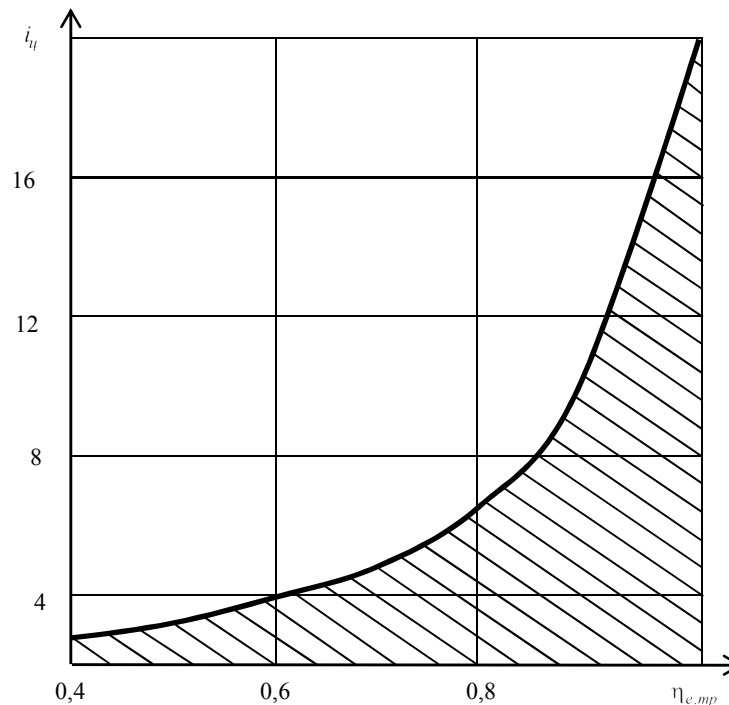


Рис. 3 – Залежність $i_{ц}(\eta_{е.мп})$, побудована при значенні $\eta_{мдв} = 0,9$ й $\eta_{мп} = 0,85$

Висновки:

1. Аналіз графіків, які наведені на рис. 2 та 3 показує, що зі збільшенням ККД електричного приводу ведучих коліс відбувається збільшення мінімального числа циліндрів ДВЗ, при якому доцільно використовувати електричну трансмісію.

2. Зі збільшенням механічного ККД ДВЗ відбувається збільшення мінімального числа циліндрів ДВЗ, при якому виконується умова (21) економія енергії.

Список літератури

1. Кайдалов Р. О. Перспективи застосування гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс для військової колісної техніки / Р. О. Кайдалов // Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції (12–13 жовтня 2016 р.) – К. : ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – С. 120–122.
2. Кайдалов Р. О. Дослідження кінематики і динаміки гібридного електромеханічного приводу ведучого колеса автомобіля / Р. О. Кайдалов // Вісник національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Проблеми механічного приводу. – 2016. – № 23 (1195). – С. 59–64.
3. Кайдалов Р. О. Оцінка впливу нерівномірності крутного моменту ДВЗ на додаткові втрати енергії при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс / Р. О. Кайдалов // Механіка машинобудування. – 2016. – №1. – С. 50–58.
4. Подригало М. А. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин / М. А. Подригало, Н. П. Артёмов, Д. В. Абрамов, М. Л. Шуляк // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2015. – № 9 (1118). – С. 98–107.
5. Подригало М. А. Влияние неравномерности крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на энергетическую экономичность колёсных транспортных средств / М. А. Подригало, А. С. Полянский, Н. М. Подригало, Д. В. Абрамов // Залізничний транспорт України. Науково-технічний журнал. – К. : ДП "Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України", 2015. – № 6. – С. 40–46.
6. Абрамов Д. В. Коэффициент полезного действия и показатели удельного потребления энергии при движении автомобиля / Д. В. Абрамов, Н. М. Подригало, М. А. Подригало // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань "Технічні науки"). – Луцьк : НТУ. – 2017. – Випуск 57 (січень – березень). – С. 8–16.

7. *Подригало М. А.* Оцінка динамічних властивостей й енергетичної економічності автомобілів з безступінчастою автоматичною трансмісією / *М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, О. М. Жовтоног* // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань "Технічні науки"). – Луцьк : НТУ. – 2017. – Випуск 57 (січень – березень). – С. 152–160.
8. *Кайдалов Р. О.* Дослідження можливості зниження енергетичних витрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс / *Р. О. Кайдалов* // Системи обробки інформації. – 2016. – Випуск 9 (146). – С. 13–17.
9. *Подригало М. А.* Энергетическая экономичность автомобиля и критерии её оценки / *М. А. Подригало, Д. В. Абрамов, Ю. В. Тарасов, В. М. Ефимчук* // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле – та тракторобудування. – 2015. – № 40 (1119). – С. 28–37.
10. *Подригало Н. М.* Влияние неравномерности крутящего момента на КПД автотракторных двигателей / *Н. М. Подригало* // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Механізація сільського виробництва. – 2012. – Т. 2, вип. 124. – С. 6–9.
11. *Ленин И. М.* Теория автомобильных и тракторных двигателей / *И. М. Ленин*. – М. : Машиностроение, 1973. – 400 с.
12. Шасси автомобиля ЗИЛ–130. *Под ред. А.М. Кригера*. – М. : Машиностроение, 1973. – 400 с.

References (transliterated)

1. Kaydalov R. O. Perspektivy zastosuvannya gibrydnogo elektromekhanichnogo pryvodu veduchykh kolis dlja vijs'kovoi kolisnoi tekhniki [Prospects for the use of a hybrid electromechanical drive for driving wheels for military vehicles]. *Problemy koordynatsiyi voyenno-tekhnichnoyi ta oborono-promyslovyi polityky v Ukraini. Perspektivy rozvytku ozbrojeniya ta vijs'kovoyi tekhniki. Tezy dopovidey IV mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi (12–13 zhovtnya 2016 r., Kiev)* [Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects for the development of weapons and military equipment. Abstracts of the IV Int. Sci.-Pract. Conf. (12–13 October, 2016, Kiev)]. Kiev, TsNDI OVT ZSU, 2016. pp. 120–122.
2. Kaydalov R. O. Doslidzhennya kinematyky i dynamiky hibrydnogo elektromekhanichnogo pryvodu veduchoho kola avtomobilya [Investigation of kinematics and dynamics of a hybrid electromechanical drive of a driving wheel of a car]. *Visnyk NTU "KhPI"*. [Collection of scientific works. Series: Problems of mechanical drive]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2016, no. 23 (1195), pp. 59–64.
3. Kaydalov R. O. Otsinka vplyvu nerivnomirostno momentu DVZ na dodatkovy vtraty enerhii pry vykorystanni hibrydnogo elektromekhanichnogo pryvodu veduchykh kolis [Estimation of the influence of the uneven torque of the ICE on additional energy losses when using the hybrid electromechanical drive of the driving wheels]. *Mekhanika mashynobuduvannya*. [Mechanics of mechanical engineering]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2016, no. 1, pp. 50–58.
4. Podrigalo M. A., Artemov N. P., Abramov D. V., Shulyak M. L. Otsenka dopolnitel'nykh energeticheskikh poter' pri ustanovivshemsya rezhime dvizheniya transportno-tyagovykh mashin [Estimation of additional energy losses under the steady-state regime of the movement of transport-traction machines]. *Visnyk NTU "KhPI". Zbirnik naukovikh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya*. [Collection of scientific works. Series: Automobile and tractor construction]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 40 (1119), pp. 28–37.
5. Podrigalo M. A., Polyanskiy A. S., Podrigalo N. M., Abramov D. V. Vliyaniye neravnomernosti krutyashchego momenta dvigatelya vnutrennego sgoraniya na energeticheskuyu ekonomichnost' kolesnykh transportnykh sredstv [Influence of unevenness of the torque of an internal combustion engine on the energy efficiency of wheeled vehicles]. *Zaluzhniy transport Ukraini. Naukovo-tekhnichny zhurnal. "Derzhavniy naukovo-doslidniy tsentr zaluzhnoho transportu Ukraini"* [Railway transport of Ukraine. Scientific and Technical Journal. State Enterprise "State Research Center of Railway Transport of Ukraine"]. Kiev, "State Research Center of Railway Transport of Ukraine" Publ., 2015, no. 6, pp. 40–46.
6. Abramov D. V., Podrigalo N. M., Podrigalo M. A. Koeffitsient poleznogo deystviya i pokazateli udel'nogo potrebleniya energii pri dvizhenii avtomobilya [Coefficient of efficiency and indicators of specific energy consumption when driving a car]. *Naukovi notatki. Mizhvuziv's'kiy zbirnik (za galuziyami znan' "Tekhnichni nauki")* [Scientific notes. Intercollegiate collection (by branches of knowledge "Technical sciences")]. Lutsk, National Technical University Publ., 2017, no. 57, pp. 8–16.
7. Podryhalo M. A., Kaydalov R. O., Zhovtonoh O. M. Otsinka dynamichnykh vlastyvostey y enerhetychnoyi ekonomichnosti avtomobiliv z bezstupinchastoyu avtomatichnoyu transmisiyeyu [Estimation of dynamic properties and energy efficiency of cars with stepless automatic transmission]. *Naukovi notatki. Mizhvuziv's'kiy zbirnik (za galuziyami znan' "Tekhnichni nauki")* [Scientific notes. Intercollegiate collection (by branches of knowledge "Technical sciences")]. Lutsk, National Technical University Publ., 2017, no. 57, pp. 152–160.
8. Kaydalov R. O. Doslidzhennya mozlyvosti znyzhennya enerhetychnykh vytrat avtomobilya pry vykorystanni hibrydnogo elektromekhanichnogo pryvodu veduchykh kolis [Investigation of the possibility of reducing energy consumption of a car using a hybrid electric drive wheel]. *Systemy obrobky informatsiyi* [Information processing systems]. Kharkov, National University of Air Forces Publ., 2016, no. 9 (146), pp. 13–17.
9. Podrigalo M. A., Abramov D. V., Tarasov Yu. V., Efimchuk V. M. Energeticheskaya ekonomichnost' avtomobilya i kriterii ee otsenki [The energy efficiency of the car and the criteria for its evaluation]. *Visnyk NTU "KhPI". Zbirnik naukovikh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya*. [Collection of scientific works. Series: Automobile and tractor construction]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 40 (1119), pp. 28–37.
10. Podrigalo N. M. Vliyaniye neravnomernosti krutyashchego momenta na KPD avtotraktornykh dvigateley [Influence of unevenness of the twisting moment on efficiency of automotive tractor engines]. *Visnyk Kharkiv's'kogo Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. Mekhanizatsiya sil's'kogo virobnytstva* [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. Mechanization of rural production]. Kharkov, National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko Publ., 2012, vol. 2, no. 124, pp. 6–9.
11. Lenin I. M. *Teoriya avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley* [Theory of automobile and tractor engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 400 p.
12. Kriger A. M., Podol'skiy S. M., Armand G. B., Gol'dberg G. I., Pevtsov V. B. *Shassi avtomobilya ZIL–130*. [The chassis of the car ZIL–130]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 400 p.

Надійшла (received) 27.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оцінка енергетичної ефективності застосування електричної трансмісії колісної машини / Р. О. Кайдалов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 25 (1247). – С. 86–89. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0791.

Оценка энергетической эффективности применения электрической трансмиссии колёсной машины / Р.О. Кайдалов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 25 (1247). – С. 86–89. – Библиогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0791.

Evaluation of the energy efficiency of the electric transmission of a wheeled vehicle / R. O. Kaidalov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 25 (1247). – P. 86–89. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кайдалов Руслан Олегович – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України, докторант докторантури та ад'юнктури, м. Харків; тел.: (067) 682-39-84; e-mail: kaidalov.76@ukr.net.

Кайдалов Руслан Олегович – кандидат технических наук, доцент, Национальная академия Национальной гвардии Украины, докторант докторантуры и адъюнктуры, г. Харьков; тел.: (067) 682-39-84; e-mail: kaidalov.76@ukr.net.

Kaidalov Ruslan Olegovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Academy of the National Guard of Ukraine, doctoral and doctoral Postgraduate School, Kharkiv; tel.: (067) 682-39-84; e-mail: kaidalov.76@ukr.net.