

## МЕТОД ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА (ПОРІВНЯНО З ДВИГУНОМ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ) ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ РІЗКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

**М.В. Третяк**, мол. наук. співроб.  
Ін-т електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

*Запропоновано метод визначення енерговитрат тягово-транспортного засобу сільськогосподарського призначення на заданому відрізку часу. Також проведено порівняння витрат енергії машинно-тракторним агрегатом з двигуном внутрішнього згорання та електроприводом. Бібл. 4, рис. 3, табл. 3.*

**Ключові слова:** машинно-тракторний агрегат, ефективність, енергія.

Як відомо, комбіновані системи живлення широко застосовуються на транспортних засобах різного призначення (автомобілі, навантажувачі, військова техніка), у тому числі тягово-транспортних засобах сільськогосподарського призначення. Зокрема, широко застосовувані електротрансмисії дають змогу чітко контролювати швидкість, більш зручно працювати у широкому діапазоні швидкостей, тримати двигун внутрішнього згорання у необхідному діапазоні обертів. Сучасні електроприводи (ЕП) з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) споживають енергії менше, ніж двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). Проте на сьогодні недостатньо висвітлено питання кількісного показника споживання енергії цими системами [4].

У цій роботі розглядаються питання порівняльної оцінки витрат енергії для систем руху з ДВЗ і ЕП. Тягово-динамічні процеси машинно-тракторного агрегату (МТА) формуються в результаті впливу нерівномірного тягового опору сільськогосподарських знарядь, нерівностей дороги на підвіску трактора, підворотів і коливань, що виникають у тракторі. Перетворюючись у тракторі, всі ці дії підсумовуються і надходять на вал двигуна у вигляді деякої функції моменту опору  $M_{on} = f(t)$ . Таким чином, характер зміни навантаження на двигун відрізняється різноманіттям складових з явно вираженими різкозмінними впливами.

У цій статті пропонується метод оцінки енергетичної ефективності електропривода (у порівнянні з ДВЗ) тягово-транспортного засобу сільськогосподарського призначення при різкозмінних навантаженнях. Суть його полягає в наступному.

Будується еквівалентна динамічна модель руху ґрунтообробного МТА, зображена на рис. 1, де позначено:  $I_1, I_2, I_3$  – моменти інерції двигуна, трансмісії і всього МТА відповідно;  $c_1, c_2$  – коефіцієнти жорсткості зв'язків;  $k_1, k_2$  – коефіцієнти демпфірування. Як сили, діючі на систему, ми розглядаємо крутний момент двигуна ( $M_d$ ) і момент опору руху ( $M_{on}$ ).

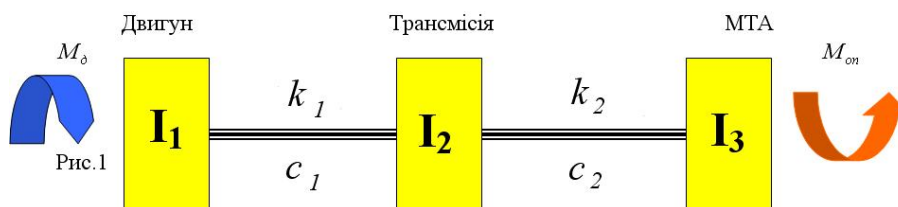


Рис. 1

Рух цієї динамічної системи описується за допомогою складання рівнянь Лагранжа другого порядку. В результаті їх перетворення отримуємо систему з трьох диференціальних рівнянь другого порядку, в які входять члени з нелінійними залежностями [2]:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = \frac{M_\partial - c_1(\varphi_1 - \varphi_2) - k_1(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)}{I_1} \\ \ddot{\varphi}_2 = \frac{c_1(\varphi_1 - \varphi_2) - k_1(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_2(\varphi_2 - \varphi_3) + k_2(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3)}{I_2} \\ \ddot{\varphi}_3 = \frac{c_2(\varphi_2 - \varphi_3) + k_2(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - M_{on}}{I_3} \end{cases} \quad (1)$$

Зміна крутного моменту двигуна  $M_\partial$  задається за допомогою рівняння регресії – параболи четвертого порядку виду

$$M_\partial = a\dot{\varphi}_1^4 + b\dot{\varphi}_1^3 + c\dot{\varphi}_1^2 + d\dot{\varphi}_1 + e \quad , \quad (2)$$

отриманого шляхом апроксимації зовнішньої робочої характеристики, де  $\dot{\varphi}_1$  – частота обертання вала;  $a, b, c, d, e$  – коефіцієнти, які визначаються для кожного двигуна окремо.

Сумарний момент сил опору руху агрегату  $M_{on}$  задається за допомогою формули опору руху тягового засобу з додаванням псевдовипадкового процесу, який описано п'ятьма синусоїдами [1]:

$$M_{on} = \frac{r}{i \cdot \eta} (v_1 + v_2 \left(\frac{r}{i} \cdot \dot{\varphi}_3\right)^2 + v_3 \sin(v_4 t) + v_5 \sin(v_6 t) + v_7 \sin(v_8 t) + v_9 \sin(v_{10} t) + v_{11} \sin(v_{12} t)) \quad , \quad (3)$$

де  $r$  – радіус кочення ведучих коліс;  $i$  – передатне число трансмісії;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії трактора;  $v_{1-12}$  – коефіцієнти, що визначаються для конкретного МТА (залежно від тягового класу).

У результаті рішення системи (1) формуються залежності процесу зміни частоти обертання вала двигуна від часу. Шляхом множення миттєвих значень обертів і моменту отримуємо миттєву потужність. Усереднивши її на заданому відрізку часу, отримуємо середню споживану потужність.

Витрати енергії для ДВЗ визначаються виходячи з залежностей витрат палива від потужності двигуна на заданому інтервалі часу. Враховуючи теплотворну здатність палива, знаходимо витрачену енергію в джоулях.

Для електродвигуна витрати енергії в джоулях визначаються шляхом перемноження електричної потужності на час заданого інтервалу. Електрична потужність знаходиться шляхом ділення механічної потужності на ККД. Отримані витрати енергії в джоулях порівнюються.

На підставі запропонованого методу проведемо порівняння витрат енергії для тягово-транспортних засобів трьох тягових класів з двигунами різної потужності, типи яких представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Тяговий клас, т	Тип ДВС	Тип електродвигуна
0,6	Д-21-А2	ПТ-125
1,4	Д50	ТЕ022
3,0	СМД-60	6-А1-2943гН

У табл. 2 наведено значення коефіцієнтів для кожного класу МТА, необхідних при розв'язанні системи рівнянь (1) [3].

При цьому для трансмісії з ЕП прийнято припущення, що джерело живлення електродвигуна має квазіпостійну потужність.

Отримані в результаті моделювання (Matlab) залежності зміни обертів двигуна (ДВЗ та ЕП) та коливань потужності для класу МТА 3,0 (100 кВт) на відрізку часу 100 с представлено відповідно на рис. 2 та 3 (1 – для ЕП, 2 – для ДВЗ).

Таблиця 2

Потужність двигуна трактора, кВт	100	40	15
Момент інерції маховика та деталей ДВЗ П1, кг·м <sup>2</sup>	3,9	1,7	1,8
Приведений момент інерції всіх обертаючих частин трактора $I_2$ , кг·м <sup>2</sup>	0,7	0,5	0,4
Приведений момент інерції поступального руху мас трактора та знаряддя І3, кг·м <sup>2</sup>	4,0	2,0	1,5
Жорсткість демпфера муфти зчеплення $c_1$ , Н·м/рад	1500	700	500
Жорсткість елементів трансмісії $c_2$ , Н·м/рад	160	100	80
Коефіцієнт демпфування гасника крутих коливань муфти зчеплення $k_1$ , Н·м·с/рад	60	30	20
Коефіцієнт демпфування елементів трансмісії муфти зчеплення $k_2$ , Н·м·с/рад	10	8	7

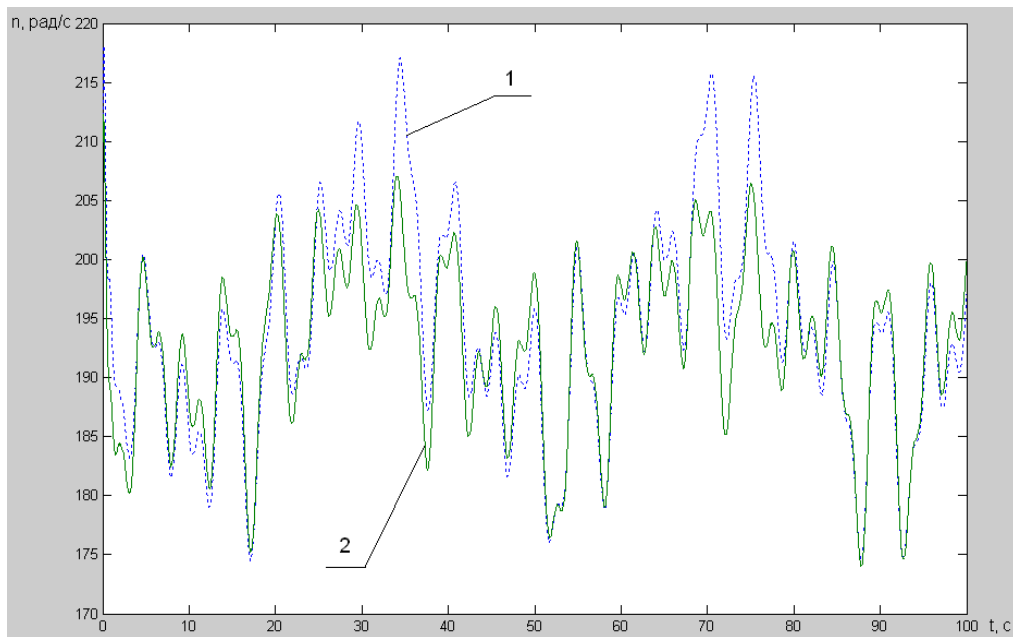


Рис. 2

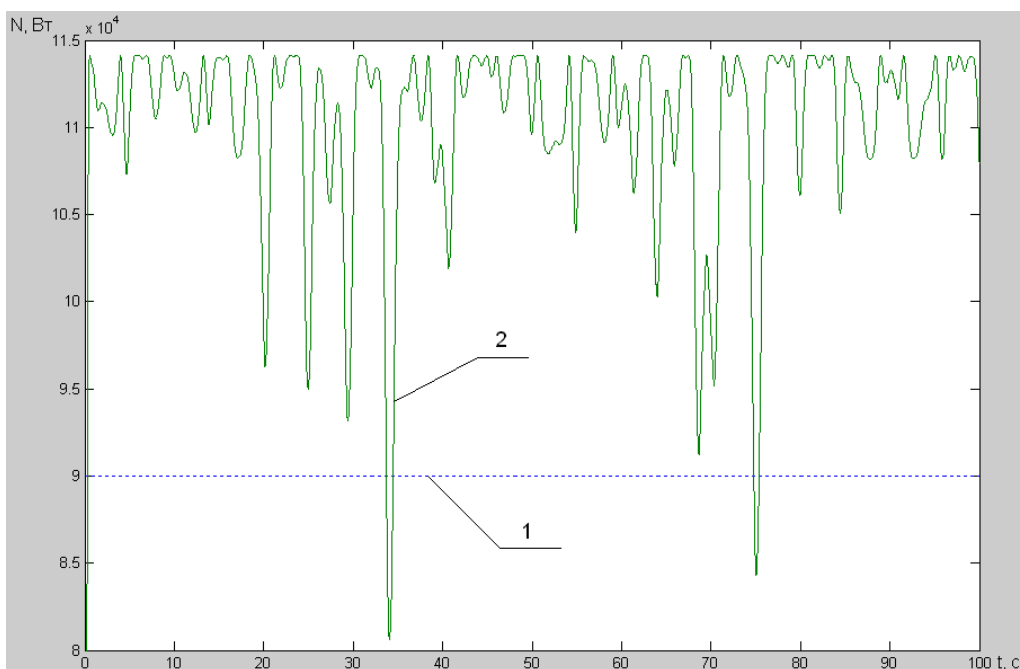


Рис. 3

Зазначимо також, що при прийнятих припущеннях зміни потужності електродвигуна вважаються несуттєвими – квазіпостійними (на рис. 3 відображено прямою 1).

У табл. 3 представлено результати порівняння двох транспортних систем (з ДВЗ і з ЕП) для трьох тягових класів.

Таблиця 3

Тяговий клас трактора, т	3,0		1,4		0,6	
Номинальна потужність, кВт	100		40		15	
Витрати енергії, МДж	ДВЗ	ЕП	ДВЗ	ЕП	ДВЗ	ЕП
	1232,5	360	446,2	160	191,3	60
Відношення витрат енергії ДВЗ до ЕП	3,42		2,78		3,18	

З наведених даних видно, що ЕП порівняно з ДВЗ витрачає значно менше енергії на виконання однакової роботи. Це зумовлено зовнішньою тяговою характеристикою електродвигуна, більш придатною для таких умов використання.

Отже, можемо зробити такі висновки:

запропонований метод за прийнятих умов дає змогу визначати витрати енергії машинно-тракторного агрегату на заданому проміжку часу;

порівняльний аналіз витрат енергії транспортним засобом показав, що при використанні електропривода споживання енергії приблизно у 3 рази менше стосовно ДВЗ при тих самих навантаженнях та потужностях;

запропонований метод може використовуватися для аналізу більш складних систем тягово-транспортних засобів з джерелом енергії обмеженої потужності при різкозмінних навантаженнях.

1. Кутьков Г.М. Основы теории трактора и автомобиля. – М.: МГАУ, 1995. – С. 107–109.
2. Третяк В.М., Оляднічук Р.В., Третяк М.В. Покращення експлуатаційних характеристик ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів шляхом застосування механічного накопичувача енергії // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2010. – Вип. 94. – С. 299 – 306.
3. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов: Альбом-справочник. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 240 с.
4. Флоренцев С.Н. Опыт разработки и внедрения комплектного тягового электрооборудования электромеханических трансмиссий транспортных средств // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2010. – Ч. 1. – С. 12–17.

УДК 621.314

**М.В. Третяк**, мл. науч. сотр.

Ин-т электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

**Метод оценки энергетической эффективности электропривода (сравнительно с двигателем внутреннего сгорания) тягово-транспортного средства при резкопеременных нагрузках**

*Предложен метод определения энергозатрат тягово-транспортного средства сельскохозяйственного назначения на заданном отрезке времени. Также проведено сравнение затрат энергии машинно-тракторным агрегатом с двигателем внутреннего сгорания и электроприводом. Библи. 4, рис. 3, табл. 3.*

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, эффективность, энергия.

**M.V. Tretyak**

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine  
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680. Ukraine

**Method of assessing the energy efficiency of electric drive (compared with an internal combustion engine) traction vehicle with a sharply-varying loads**

*In this paper we propose a method for determining energy towing vehicle for agricultural purposes at a given time interval. Also compared the energy consumption of tractor operated machinery with internal combustion engine and electric drive. References 4, figures 3, tables 3.*

**Key words:** machine-tractor units, efficiency, energy.

Надійшла 13.01.2012

Received 13.01.2012

