

УДК 631.17.004.9

## ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MOBILE POWER VEHICLES WITH ELECTRIC DRIVES

V. Gavrish

*Nikolaev National Agrarian University*

V. Nitsenko

*Odessa State Agrarian University*

---

**Key words:**

*Electromechanical  
transmission  
Economic efficiency  
Environmental efficiency  
Reduced costs*

**Article history:**

Received 26.07.2014  
Received in revised form  
13.08.2014  
Accepted 20.08.2014

**Corresponding author:**

V. Gavrish

**E-mail:**

npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The reduction of production cost is an important issue for agricultural producers. This goal can be achieved as well by reducing the energy intensity of manufacturing operations and by improving their environmental component. It is shown that it is possible to achieve the same goal as well by stepless transmissions of mobile energy resources by using the traction electric drive. The present state of development and technical and economic performance of vehicles with hybrid power plant, tractors with electric and electromechanical transmission is analyzed. There is a comparison with traditional techniques and an electric motor drive. The methodical approach for defining the resulted costs is given, taking into account air pollution by exhaust gases. The scope of work is defined, for which the use of the given method by agrarian formations may be appropriate.

---

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

В.І. Гавриш

*Миколаївський національний аграрний університет*

В.С. Ніценко

*Одеський державний аграрний університет*

*Для сільськогосподарських товаровиробників актуальним є зменшення собівартості продукції, що досягається, у тому числі, шляхом зменшення енергоємності технологічних операцій і покращення їх екологічної складової. У статті показано, що досягнути цього можливо і за рахунок безступеневого регулювання трансмісії мобільних енергетичних засобів шляхом використання тягового електричного приводу. Розглянуто сучасний стан розвитку й техніко-економічні показники автомобілів з гібридною енергетичною установкою, тракторів з електричною й електромеханічною трансмісією. Проведено порівняння техніки з традиційним та електричним тяговим приводом. Наведено методичний підхід до визначення приведених витрат з урахуванням забруднення атмосфери відпрацьо-*

ваними газами. Визначено обсяги робіт, за яких їх використання аграрними формуваннями може бути доцільним.

**Ключові слова:** електромеханічна трансмісія, економічна ефективність, екологічна ефективність, приведені витрати

Трактори з традиційною механічною трансмісією мають ряд недоліків, а саме:

- буксування при русі і виконанні технологічних операцій;
- неможливістю плавного регулювання швидкості руху в заданих діапазонах;
- нерівномірний знос циліндропоршневої групи двигуна, внаслідок різних режимів роботи двигуна, що передбачає більш частий ремонт двигуна.

Зважаючи на це, у світі тривають роботи із застосування тягового електроприводу, у тому числі електромеханічних трансмісій, який має низку переваг порівняно з іншими трансмісіями.

Багаторічна експлуатація автомобілів БелАЗ, в яких застосовується така трансмісія, показала свою надійність і ефективність. Це обумовлено роботою двигуна в оптимальних умовах, що продовжує його термін експлуатації і напруження на відмову. Застосуванню електродвигунів у мобільних машинах сприяла надійність, простота в обслуговуванні й екологічність. Це дало поштовх до розвитку нової гілки розвитку автомобілебудування — гібридів, яким притаманні високі динамічні характеристики, низька витрата палива, великий запас ходу. Зважаючи на це, актуальним є економічне й екологічне обґрунтування застосування таких мобільних енергетичних засобів.

Аналіз світових тенденцій розвитку мобільних енергетичних засобів показує, що вдосконалення техніки здійснюється в напрямку енергозбереження, ресурсозбереження й створення машин з екологічно безпечними параметрами. Основним критерієм створення нової вітчизняної сільськогосподарської техніки стає її конкурентоспроможність порівняно із зарубіжними виробниками.

У світі приділяється багато уваги розробці сільськогосподарських машин з електричним приводом [5—9]. Дослідження, проведені в США, показали, що при покупці нової техніки найбільш важливими факторами були такі: надійність, ціна, паливна економічність, можливість виконати ремонт самостійно й екологічні показники. Знаходження надійності на першій сходинці обумовлено специфікою аграрного виробництва [10].

Для забезпечення впровадження сільськогосподарської техніки з високими екологічними й економічними показниками необхідне обґрунтування доцільності використання перспективних видів мобільних енергетичних засобів.

Метою дослідження є аналіз стану мобільних енергетичних засобів, в яких використовується електрична енергія трансмісії, та розробка методики оцінки їх еколого-економічної ефективності.

Схема дизель — генератор — електромотор — редуктор — ведучий міст [1] має найпростіший алгоритм керування. Це пояснюється тим, що генератор — електромотор відповідають безступеневій коробці передач [2, 3]. Подібна схема має мінімальну кількість силової електричної апаратури і тому вона досить проста та дешева.

Розглянемо трактори та вантажні автомобілі, які використовують електричну енергію в трансмісії.

На МТЗ створено трактор з електромеханічною трансмісією МТЗ-3023, який пройшов випробування у 2008 році. Випробування показали, що за рахунок безступеневого регулювання швидкості, продуктивність орного машинно-тракторного агрегату на 2 % більша, а витрата палива на 18 % менша порівняно з серійним трактором Беларус-3022ДВ, який обладнано механічною трансмісією (табл. 1) [4].

*Таблиця 1. Результати порівняльних випробувань*

<b>Показник</b>	<b>Беларус-3023</b>	<b>Беларус-3022ДВ</b>
Вага трактора експлуатаційна, кг	12440	11385
Шини:		
заднього мосту	580/70R42	580/70R42
переднього мосту	580/70R30	580/70R30
Марка плуга	ВВ-100-8	
Глибина оранки, см	22,4	22,5
Середня ширина захвату, м	3,47	3,47
Середня робоча швидкість, км/год	9,37	8,34
Продуктивність за годину основного часу, га/год	2,93	2,89
Погодинна витрата палива, кг/год	31,7	38,2
Питома витрата палива, кг/га	10,81	13,2

Проводяться роботи з підвищення техніко-економічних показників сільсько-господарських тракторів і в Україні. Так, у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка запропоновано встановлення електромеханічної трансмісії на трактор тягового класу 30 кН. Математичне моделювання роботи трактора ХТЗ-17022 показало, що запропонована трансмісія дозволяє зменшити питому витрату палива (20,4 %) при незначному збільшенні продуктивності (6,7 %) (табл. 2).

*Таблиця 2. Порівняння орного машинно-тракторного агрегату на базі ХТЗ-17022 з механічною й електромеханічною трансмісією*

<b>Показник</b>	<b>Значення</b>	
	<b>Механічна трансмісія</b>	<b>Електромеханічна трансмісія</b>
Склад машинно-тракторного агрегату	ХТЗ-17022+ПЛН-5-35	
Вид роботи	Оранка	
Тип ґрунту	Чорнозем суглинков	
Площа поля, га	126	
Довжина гону, м	1012	
Робоча швидкість, км/год	2,3	2,4
Продуктивність за годину основного часу, га/год	1,78	1,9
Питома витрата палива, кг/га	22,6	18,0

Тривають роботи зі створення трактора з електромеханічною трансмісією на базі К-9520 з потужністю двигуна 450 к.с. (Росія). За рахунок трансмісії нового

типу очікується зменшення витрати палива на величину від 30 до 50 %, залежно від виду робіт. Сьогодні ціна трактора з електромеханічною трансмісією перевищує ціну його аналога з механічною трансмісією приблизно на 20—30 % [12].

Для потреб аграрного виробництва створюються трактори з електричною трансмісією. Як джерело живлення вони використовують дизель-генератори, акумуляторні батареї та паливні елементи.

Прикладом першого напрямку може слугувати такий трактор, як Rigitrac EWD120. Джерелом електричного струму є генератор потужністю 85 кВт. У кожному колесі трактора встановлено електричний мотор потужністю 33 кВт з електронним керуванням [13].

Прикладом другого напрямку є трактор, створений компанією MOBEL на базі трактора «Беларус-920». Джерелом енергії є літій-іонні батареї ємністю 56 кВт·год. Зазначений трактор приводиться в дію електричним двигуном потужністю 60 кВт. Тривалість роботи після зарядки батареї — 4 години, час зарядки — 30 хвилин [14].

Третій напрям представляє трактор, розроблений на базі New Holland T600. Трактор обладнаний паливними елементами, який характеризуються екологічною чистотою та високим ККД перетворення хімічної енергії палива в електричну енергію [15]. Новинка оснащена двома електричними моторами потужністю 100 кВт: один — для забезпечення руху (75 кВт); другий для приводу валу відбору потужності. Для живлення паливних елементів використовують водень, який зберігається у балоні високого тиску об'ємом 500 л. Безперебійність живлення забезпечує акумуляторна батарея ємністю 12 кВт·год. Розробники стверджують, що енергетична ефективність трактора сягає 96 %. Однак за це доводиться платити, адже ціна трактора перевищує USD350 тис.

Розглянемо досвід використання електричної енергії в трансмісії вантажних автомобілів. Більшість виробників вантажних автомобілів виробляють гібридні моделі. Це такі виробники, як Volvo, Mack Trucks, Peterbilt, Mercedes-Benz, Renault, Mitsubishi. За даними фірми Volvo, можлива економія палива становить 8 %. Більшість виробників зазначеної техніки бачать перспективи при середній швидкості 30 км/год і частих гальмуваннях, що близько до умов роботи в аграрному бізнесі. За таких умов економія палива сягає 40 %. Дані деяких гібридних автомобілів наведено в табл. 3 (за даними рекламних буклетів).

*Таблиця 3. Техніко-економічні характеристики гібридних автомобілів*

<b>Показник</b>	<b>DAF LF45-10 Hybrid</b>	<b>MAN TGL 12.220 Hybrid</b>	<b>Renault Premium Hybrys</b>	<b>Peterbilt Model 335</b>
Колісна формула	4x2	4x2	6x2	6x4
Повна вага, т	12	12	26	26
Потужність двигуна, к.с.	160	220	310	300
Потужність електричного двигуна, кВт	44	60	70 (макс. 120)	44
Вага гібридного приводу, кг	300	200	220	340

Показник	DAF LF45-10 Hybrid	MAN TGL 12.220 Hybrid	Renault Premium Hybrys	Peterbilt Model 335
Додаткова вартість, EUR	-	25000	-	-
Економія палива, %	20	18,1	20	28

Можна констатувати, що створені й експлуатуються гібридні автомобілі з показниками, які прийнятні для сільськогосподарського виробництва. Так, наприклад, зерновоз вітчизняного виробництва КрАЗ-6230С4 за потужністю двигуна (266 кВт) та колісною формулою [11] подібний до Peterbilt Model 335.

Досвід експлуатації гібридних вантажних автомобілів фірмою Coca-Cola засвідчив покращення експлуатаційних показників транспортних засобів (табл. 4). Покращуються й екологічні показники [16].

*Таблиця 4. Витрати на одну милю*

Тип автомобіля	Експлуатаційні витрати, USD/миля	Витрати на паливо, USD/миля	Загальні витрати, USD/миля
Традиційна енергетична установка	0,29	0,68	0,97
Гібридна енергетична установка	0,14	0,6	0,74
Різниця, %	-51	-12	-24

При виконанні економічного аналізу ефективності використання мобільних енергетичних засобів електричною, електромеханічною або гібридною трансмісією потрібно враховувати капітальні вкладення, витрати палива й екологічний фактор. Приведені витрати визначаються за формулою:

$$П = P + З + ВГ + Ц \cdot В + E_n \cdot K ,$$

де  $P$  — витрати на поточний та капітальний ремонт;  $З$  — заробітна плата;  $Ц$  — ціна палива;  $В$  — витрата палива;  $ВГ$  — економічний збиток від забруднення атмосфери токсичними компонентами відпрацьованих газів;  $E_n$  — нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;  $K$  — капітальні вкладення.

Забруднення атмосфери призводить до значних соціально-економічних і матеріальних збитків. Економічні збитки від забруднення атмосферного повітря визначається за такою залежністю [17]:

$$ВГ = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M ,$$

де  $\gamma$  — нормативна константа для переведення відпрацьованих газів у грошову оцінку, у.о./у.т;  $\sigma$  — показник відносної загрози забруднення атмосфери;  $f$  — поправка, яка враховує характер розсіювання токсичних компонентів в атмосфері;  $M$  — приведення маси відпрацьованих газів до  $CO$  з урахуванням агресивності, т.

Приведена маси річних викидів відпрацьованих газів можна визначити за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \cdot A_i,$$

де  $m_i$  — маса річних викидів  $i$ -го компоненту відпрацьованих газів;  $A_i$  — коефіцієнт відносної агресивності  $i$ -го компоненту відпрацьованих газів;  $n$  — загальна кількість компонентів відпрацьованих газів.

Ціна компонентів відпрацьованих газів, що забруднюють атмосферу, коливається у широких межах. Показники агресивності та ціни деяких компонентів наведено в табл. 5.

*Таблиця 5. Показники агресивності і ціна компонентів відпрацьованих газів*

<b>Парникові гази</b>	<b>Показник агресивності</b>	<b>Ціна, EUR/т</b>
Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )	1	32
Метан (CH <sub>4</sub> )	23	161
N <sub>2</sub> O	296	2072

Розрахунки показують, що для економічної доцільності використання мобільних енергетичних засобів у сільськогосподарському виробництві, необхідно завантажувати техніку значними обсягами робіт. Так, додаткові витрати на придбання трактора Беларус-3023 будуть економічно доцільними за річного завантаження не менше 870 га. Вантажні автомобілі з гібридною енергетичною установкою будуть доцільними за річного пробігу не менше 22000 км. Таким чином, техніка, яка використовує електричну енергію в трансмісії може бути доцільною у великих аграрних формуваннях.

### **Висновки**

Застосування тягового електрообладнання в тракторах має багато переваг. Особливо це стосується потужних (понад 250 к.с.), енергонасичених тракторів, де вартість трансмісії в загальній ціні трактора має меншу частку.

У світовій практиці автомобілебудування проводяться роботи зі створенню ефективних гібридних автомобілів. Найбільші автомобільні компанії світу розробляють електромобілі. Застосування електроприводу дозволяє принципово вирішити екологічні й енергетичні проблеми сучасного аграрного виробництва.

У результаті виконаного комплексу досліджень розроблено критерії і параметри оцінки ефективності заходів екологічного спрямування. Застосування тягового електроприводу дозволяє істотно зменшити викиди токсичних компонентів з відпрацьованими газами порівняно з традиційними енергетичними установками мобільних енергетичних засобів.

### **Література**

1. *Beunk H.* Stepless changing with diesel-electric power / H. Beunk // Profi International. — 1999. — № 12. — P. 28—30.

2. *Ксенович И.П.* Механические трансмиссии с бесступенчатым регулированием передаточных чисел между смежными ступенями коробки передач / И.П. Ксенович // Мобильная техника. — 2004. — № 1. — С. 21—29.
3. *Ксенович И.П.* Идеология проектирования электромеханических систем для гибридной мобильной техники / И.П. Ксенович, Д.Б. Изосимов // Тракторы и сельхозмашины. — 2007. — № 2. — С. 12—20.
4. *Флоренцев С.Н.* Серебряная медаль сельскохозяйственной выставки AGRITECHNICA—2009 — трактору с электромеханической трансмиссией переменного тока / С.Н. Флоренцев, Д.Б. Изосимов, Л.Н. Макаров. // Электротехника. — 2010. — № 1 — С. 43 — 49.
5. *Götz M.* Elektrification of a tractor and implement / M. Götz, A.M. Müller, M. Abele // The ZF project ElecTra. Land.Technik AgEng, 2011. — P.15—20.
6. *Prankl H.* Multi-Functional PTO Generator for Mobile Electric Power Supply of Agricultural Machinery / H.Prankl, M.Nadlinger, F.Demmelmayr, M.Schrödl, T.Colle, G.Kalteis, // Land.Technik AgEng, 2011. — P. 7—13.
7. *Mousazadeh H.* Life-cycle assessment of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (sapht) in comparison with a conventional tractor / H.Mousazadeh, A.Keyhani, A.Javadi, H.Mobli, K.Abrinia // Energy Conversion and Management. — 2011. — # 52(3). — P. 1700—1710.
8. *Xu P.* Chinese consumers' willingness to pay for green- and eco-labeled seafood / P. Xu, Y. Zeng, Q. Fong, T. Lone, Y. Liu // Food Control. — 2012. — # 28(1). — P. 74—82.
9. *Granovskii M.* Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles / M.Granovskii, I.Dincer, M.Rosen // Journal of Power Sources. — 2006. — #159(2). — P. 1186—1193.
10. *Flint Justin.* Preliminary Market Analysis for a New Hybrid Electric Farm Tractor / Justin Flint, Daming Zhang, Pei Xu // International Conference on Global Economy, Commerce and Service Science (GECSS 2014). — P. 98—102.
11. *Україне* — новий зерновоз от ПАО «АвтоКрАЗ» // Аграрна техніка та обладнання. — 2012. — №4. — С. 58—59.
12. *Макаренко М.* Удосконалення тракторних трансмісій / М. Макаренко // The Ukrainian Farmer. — 2011. — Лютий. — С. 86—88.
13. *Гольцяпин В.Я.* Новые направления использования электрической энергии на тракторах / В.Я. Гольцяпин // Аграрна техніка та обладнання. — 2012. — №4. — С. 18—19.
14. *Третьак В.* Энергоэффективный трактор / В. Третьак // The Ukrainian Farmer. — 2013. — Лютий. — С. 94—96.
15. *Spiegel Colleen.* Designing and Building Fuel Cells / Colleen Spiegel. — New York: McGraw-Hill, 2007 — 422 p.
16. *Walkowicz K.* Coca-Cola Refreshments Class 8 Diesel Electric Hybrid Tractor Evaluation: 13-Month Final Report / K. Walkowicz, M. Lammert, P. Curran // Technical Report, NREL/TP—5400—53502. — August 2012. — 48 p.
17. *Ерохов В.И.* Оценка экологической безопасности современных транспортных средств / В.И. Ерохов, А.В. Николаенко // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — №1. — С. 66—70.

## **ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

**В.И. Гавриш**

*Николаевский национальный аграрный университет*

**В.С. Ниценко**

*Одесский государственный аграрный университет*

*Для сельскохозяйственных товаропроизводителей актуальным является уменьшение себестоимости, которое достигается, в том числе, путем уменьшения энергоемкости технологических операций и улучшения их экологической составляющей. В статье показано, что достичь этого возможно и за счет бесступенчатого регулирования трансмиссий мобильных энергетических средств путем использования тягового электрического привода. Рассмотрено современное состояние развития и технико-экономические показатели автомобилей с гибридной энергетической установкой, тракторов с электрической и электромеханической трансмиссией. Проведено сравнение техники с традиционным и электрическим тяговым приводом. Разработан методический подход определения приведенных затрат с учетом загрязнения атмосферы отработанными газами. Определены объемы работ, при которых их использование аграрными формированиями может быть целесообразным.*

**Ключевые слова:** *электромеханическая трансмиссия, экономическая эффективность, экологическая эффективность, приведенные затраты.*