

МОБИЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Валерий Гавриш, Максим Шатохин, Василий Грубань

Николаевский национальный аграрный университет

Ул. Парижской коммуны, 9, г. Николаев, Украина. E-mail: havryshvi@mnaeu.edu.ua

Valeriy Havrysh, Maxim Shatohin, Vasily Gruban

Nikolaev National Agrarian University

St. Paris Commune, 9, Nikolaev, Ukraine. E-mail: havryshvi@mnaeu.edu.ua

Аннотация. Для сельскохозяйственных товаропроизводителей актуальным является уменьшение себестоимости достигается, в том числе, путем уменьшения энергоёмкости технологических операций и улучшения их экологической составляющей. Показано, что достичь этого можно и за счет бесступенчатого регулирования трансмиссий мобильных энергетических средств, путем использования тягового электрического привода. Проанализированы мировые тенденции развития мобильных энергетических средств. Рассмотрены тракторы с традиционной механической трансмиссией и их недостатки. Рассмотрим тракторы и грузовые автомобили, какие используют электрическую энергию в трансмиссии. Рассмотрены современное состояние и технико-экономические показатели автомобилей с гибридной энергетической установкой, тракторов электрической и электромеханической трансмиссией. Выполнен экономический анализ по эффективности использования мобильных энергетических средств электрической, электромеханической или гибридной трансмиссией. Проведено сравнение техники с традиционным и электрическим тяговым приводом. Приведены методический подход определения приведенных затрат с учетом загрязнения атмосферы отработанными газами. Показаны объемы работ, при которых их использование аграрными формированиями может быть целесообразным.

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

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Тракторы с традиционной механической трансмиссией имеют ряд недостатков, а именно:

- буксования при движении и выполнении технологических операций;
- невозможностью плавного регулирования скорости движения в заданных диапазонах;
- неравномерный износ цилиндропоршневой группы двигателя, в результате различных режимов работы двигателя, который предусматривает более частый ремонт двигателя.

Поэтому в мире продолжают работы по применению тягового электропривода, в том числе электромеханических трансмиссий, которая облада-

ет рядом преимуществ перед другими трансмиссиями.

Многолетняя эксплуатация автомобилей БелАЗ, в которых применяется такая трансмиссия, показала свою надежность и эффективность. Это обусловлено работой двигателя в оптимальных условиях, продолжает его срок эксплуатации и наработки на отказ. Применение электродвигателей в мобильных машинах способствовала надежности, простота в обслуживании и экологичность. Это дало толчок к развитию новой ветви развития автомобилестроения - гибриды. Они обладают высокими динамическими характеристиками, низким расходом топлива, большим запасом хода. Поэтому актуальным является экономическое и экологическое обоснование применения таких мобильных энергетических средств.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ мировых тенденций развития мобильных энергетических средств показывает, что совершенствование техники осуществляется в направлении энергосбережения, ресурсосбережения и создания машин с экологически безопасными параметрами. Основным критерием создания новой отечественной сельскохозяйственной техники становится ее конкурентоспособность по отношению к зарубежным производителям.

В мире уделяется большое внимание разработке сельскохозяйственных машин с электрическим приводом [5 - 8]. Исследования, проведенные в США показали, что при покупке новой техники наиболее важными факторами в порядке значимости были следующие: надежность, цена, топливная экономичность, возможность выполнить ремонт самостоятельно и экологические показатели. Нахождение надежности на обусловлено спецификой аграрного производства [10].

Поэтому для обеспечения внедрения сельскохозяйственной техники с высокими экологическими и экономическими показателями, необходимо обоснование целесообразности использования перспективных видов мобильных энергетических средств.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является анализ мобильных энергетических средств, которые используют электриче-

ский привод в трансмиссии, и разработка методики оценки их эколого-экономической эффективности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Наиболее простая и распространенная схема: дизель - генератор - электромотор - редуктор - ведущий мост [1]. Она имеет самый алгоритм управления. Это объясняется тем, что генератор - электромотор соответствуют бесступенчатой коробке передач [2, 3]. Подобная схема имеет минимальное количество силовой электрической аппаратуры и поэтому она самая и дешевая.

Рассмотрим тракторы и грузовые автомобили, какие используют электрическую энергию в трансмиссии.

На МТЗ создан трактор с электромеханической трансмиссией МТЗ-3023, которой прошел испытания в 2008 году. Испытания показали, что за счет бесступенчатого регулирования скорости, производительность пахотного машинно-тракторного агрегата на 2% больше, а расход топлива на 18% меньше по сравнению с серийным трактором Беларус-3022ДВ, оборудованный механической трансмиссией (табл. 1) [4].

Таблица 1. Результаты сравнительных испытаний.

Table 1. The results of comparative tests

Показатель	Беларус-3023	Беларус-3022ДВ
Вес трактора, кг	12440	11385
Шины: заднего моста переднего моста	580/70R42 580/70R30	580/70R42 580/70R30
Марка плуга	ВВ-100-8	
Глубина вспашки, см	22,4	22,5
Средняя ширина захвата, м	3,47	3,47
Средняя рабочая скорость, км/ч	9,37	8,34
Производительность за час основного времени, га/ч	2,93	2,89
Почасовой расход топлива, кг/ч	31,7	38,2
Удельный расход топлива, кг/га	10,81	13,2

Проводятся работы по повышению технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов и в Украине. Так, в Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства имени Петра Василенко предложено установление электромеханической трансмиссии на трактор тягового класса 30 кН. Математическое моделирование применительно трактора ХТЗ-17022 показало, что предложенная трансмиссия позволяет уменьшить удельный расход топлива (20,4%) при

незначительном увеличении производительности (6,7%) (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение пахотного машинно-тракторного агрегата на базе ХТЗ-17022 с механической и электромеханической трансмиссией

Table 2. Comparison of the plowing machine and tractor units on the basis of HTZ-17022 with mechanical and electromechanical transmission

Показатель	Значение	
	Механическая трансмиссия	Электромеханическая трансмиссия
Состав машинно-тракторного агрегата	ХТЗ-17022+ПЛН-5-35	
Вид работы	вспашка	
Тип почвы	чернозем	
Площадь поля, га	126	
Длина гона, м	1012	
Рабочая скорость, км/ч	2,3	2,4
Производительность за час основного времени, га/ч	1,78	1,9
Удельный расход топлива, кг/га	22,6	18,0

Продолжаются работы по созданию трактора с электромеханической трансмиссией на базе К-9520 с мощностью двигателя 450 л.с. (Россия). За счет трансмиссии нового типа ожидается уменьшение расхода топлива на величину от 30 до 50% в зависимости от вида работ. Сегодня цена трактора с электромеханической трансмиссией превышает цену его аналога с механической трансмиссией примерно на 20...30% [12].

Для нужд аграрного производства создаются тракторы с электрической трансмиссией. В качестве источника питания они используют дизель-генераторы, аккумуляторные батареи и топливные элементы.

Примером первого направления может служить такой трактор как Rigitrac EWD120. Источником электрического тока является генератор мощностью 85 кВт. В каждом колесе трактора установлен электрический мотор мощностью 33 кВт с электронным управлением [13].

Примером второго направления является трактор, созданный компанией MOBEL на базе трактора «Беларус - 920». Источником энергии является литий-ионные батареи емкостью 56 кВт/год. Указанный трактор приводится в действие электрическим двигателем мощностью 60 кВт. Продолжительность работы после зарядки батареи - 4:00, время зарядки - 30 минут [14].

Третье направление представляет трактор, разработанный на базе New Holland T600. Он оборудован топливными элементами. Они характеризуются

экологической чистотой и высоким КПД преобразования химической энергии топлива в электрическую энергию [15]. Новинка оснащена двумя электрическими моторами мощностью 100 кВт: один - для обеспечения движения (75 кВт) второй для привода вала отбора мощности. Для питания топливных элементов используют водород, который хранится в баллоне высокого давления объемом 500 л. Бесперебойность питания обеспечивает аккумуляторная батарея емкостью 12 кВт/ч. Разработчики утверждают, что энергетическая эффективность трактора достигает 96%. Однако за это приходится платить. Цена трактора превышает USD350 тыс.

Рассмотрим пример использования электрической энергии в трансмиссии грузовых автомобилей.

Большинство производителей грузовых автомобилей производят гибридные модели. Это такие производители, как Volvo, Mack Trucks, Peterbilt, Mercedes-Benz, Renault, Mitsubishi. По данным фирмы Volvo, возможна экономия топлива составляет 8%. Большинство производителей указанной техники видят перспективы при средней скорости 30 км / ч и частых торможениях, что близко к условиям работы в аграрном бизнесе. При данных условиях экономия топлива достигает 40%. Данные некоторых гибридных автомобилей приведены в табл. 3 (по данным рекламных буклетов).

Таблица 3. Техничко-экономические характеристики гибридных автомобилей

Table 3. Technical and economic characteristics of hybrid cars

Показатель	DAF LF45-10 Hybrid	MAN TGL 12.220 Hybrid	Renault Premium Hybrys	Peterbilt Model 335
Колесная формула	4x2	4x2	6x2	6x4
Полный вес, т	12	12	26	26
Мощность двигателя, л.с.	160	220	310	300
Мощность электрического двигателя, кВт	44	60	70 (макс. 120)	44
Вес гибридного привода, кг	300	200	220	340
Дополнительная стоимость, EUR	-	25000	-	-
Экономия топлива, %	20	18,1	20	28

Таким образом, можно констатировать, что созданы и эксплуатируются гибридные автомобили с показателями, которые приемлемы для сельскохозяйственного производства. Так, например, зерновоз отечественного производства КрАЗ-6230С4 по мощности двигателя (266 кВт) и колесной формулой [11] подобный Peterbilt Model 335.

Опыт эксплуатации гибридных грузовых автомобилей фирмой Coca-Cola показал улучшение эксплуатационных показателей транспортных средств (табл. 4). Улучшаются и показатели [16].

Таблица 4. Расходы на одну милю
Table 4. Costs per mile

Тип автомобиля	Эксплуатационные расходы, USD/миля	Расходы на топливо, USD/миля	Общие затраты, USD/миля
Традиционная энергетическая установка	0,29	0,68	0,97
Гибридная энергетическая установка	0,14	0,6	0,74
Разница, %	-51	-12	-24

При выполнении экономического анализа по эффективности использования мобильных энергетических средств электрической, электромеханической или гибридной трансмиссией нужно учитывать капитальные вложения, затраты топлива и экологический фактор. Приведенные затраты определяются по формуле:

$$\Pi = P + 3 + BG + Ц \cdot B + E_n \cdot K,$$

где: P - расходы на текущий и капитальный ремонт, C - заработная плата, $Ц$ - цена топлива, B - расход топлива, BG - экономический ущерб от загрязнения атмосферы токсичными компонентами отработавших газов, E_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, K - капитальные вложения.

Загрязнение атмосферы осуществляет значительные социально-экономические и материальные убытки. Экономический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха определяется по следующей зависимости [17]:

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

где: γ - нормативная константа для перевода отработанных газов в оценку, у.е./у.т, σ - показатель относительной опасности загрязнения атмосферы, f - поправка учитывающая характер рассеивания токсичных компонентов в атмосфере, M - приведенные массы отработанных газов в СО с учетом агрессивности, т.

Приведенная массы годовых выбросов отработанных газов можно определить по формуле:

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

где: m_i - масса годовых выбросов i -го компонента отработавших газов, A_i - коэффициент относительной агрессивности i -го компонента отработавших

газов, n - общее количество компонентов отработавших газов.

Цена компонентов отработанных газов, загрязняющих атмосферу колеблется в широких пределах [18]. Показатели агрессивности и цены некоторых компонентов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Показатели агрессивности и цена компонентов отработанных газов

Table 5. Indicators of aggression and the price components of the exhaust gas

Парниковые газы	Показатель агрессивности	Цена, EUR/т
Углекислый газ (CO ₂)	1	32
Метан (CH ₄)	23	161
N ₂ O	296	2072

Расчеты показывают, что для экономической целесообразности использования мобильных энергетических средств в сельскохозяйственном производстве, необходимо загружать технику значительными объемами работ [19]. Так, дополнительные расходы на приобретение трактора Беларус-3023 будут экономически целесообразными при годовом грузки не менее 870 га. Грузовые автомобили с гибридной энергетической установкой будут целесообразными при годовом пробеге не менее 22000 км [20 -22]. Таким образом техника, которая использует электрическую энергию в трансмиссии может быть целесообразной в крупных аграрных формированиях.

ВЫВОДЫ

Применение тягового электрооборудования в тракторах имеет много преимуществ. Особенно это касается мощных (свыше 250 л.с.), энергонасыщенных тракторов. В них стоимость трансмиссии в общей цене трактора имеет меньшую долю.

В мировой практике автомобилестроения широко ведутся работы по созданию эффективных гибридных автомобилей. Крупнейшие автомобильные компании мира ведут разработку электромобилей. Применение подобного электропривода позволяет принципиально решить экологические и энергетические проблемы современного аграрного производства.

В результате выполненного комплекса исследований разработаны критерии и параметры оценки эффективности мероприятий экологической направленности. Применение тягового электропривода позволяет существенно уменьшить выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами по сравнению с традиционными энергетическими установками мобильных энергетических средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Beunk, H.** 1999. Stepless changing with diesel-electric power. *Profi International*. № 12. 28–30.
2. **Ксенович, И.П.** 2004. Механические трансмиссии с бесступенчатым регулированием передаточных чисел между смежными ступенями коробки передач. *Мобильная техника*. № 1. 21–29.
3. **Ксенович, И.П., Изосимов Д.Б.** 2007. Идеология проектирования электромеханических систем для гибридной мобильной. *Тракторы и сельхозмашины*. № 2. 12–20.
4. **Флоренцев С.Н., Изосимов Д.Б., Макаров Л.Н.** 2010. Серебряная медаль сельскохозяйственной выставки AGRITECHNICA – трактору с электромеханической трансмиссией переменного тока. *Электротехника*. № 1. 43 - 49.
5. **Götz, M., Müller A., Abele M.** 2011. Elektrifikation of a tractor and implement The ZF project ElecTra. *Land.Technik AgEng*. 15-20.
6. **Prankl H., Nadlinger M., Demmelmayr F., Schrödl M., Colle T., Kalteis G.** 2011. Multi-Functional PTO Generator for Mobile Electric Power Supply of Agricultural Machinery. *Land.Technik AgEng*. 7-13.
7. **Mousazadeh H., Keyhani A., Javadi A., Mobli H., Abrinia K.** 2011. Life-cycle assessment of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (sapht) in comparison with a conventional tractor. *Energy Conversion and Management*. №52(3). 1700-1710.
8. **Xu P., Zeng Y., Fong Q., Lone T., Liu Y.** 2012. Chinese consumers' willingness to pay for green-and eco-labeled seafood. *Food Control*. № 28(1). 74-82.
9. **Granovskii M., Dincer I., Rosen M.** 2006. Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*. № 159(2). 1186-1193.
10. **Flint J., Daming Z., Pei X.** 2014. Preliminary Market Analysis for a New Hybrid Electric Farm Tractor. *International Conference on Global Economy, Commerce and Service Science*. 98-102.
11. **Барановський О.С.** 2012. Украине – новый зерновоз от ПАО «АвтоКрАЗ». *Аграрна техніка та обладнання*. №4. 58-59.
12. **Макаренко М. В.** 2011. Удосконалення тракторних трансмісій. *The Ukrainian Farmer*. 86-88.
13. **Гольяпин В.Я.** 2012. Новые направления использования электрической энергии. *Аграрная техника и оборудование*. №4. 18-19. (Украина).
14. **Третяк В. Н.** 2013. Энергоэффективный трактор. *The Ukrainian Farmer*. 94-96.
15. **Spiegel C.** 2007. Designing and Building Fuel Cells. – New York : McGraw-Hill. 422.
16. **Walkowicz K., Lammert M.** 2012. Coca-Cola Refreshments Class 8 Diesel Electric Hybrid Tractor Evaluation: 13-Month Final. Technical Report, NREL/TP-5400-53502. 48.
17. **Ерохов В.И.** 2009. Оценка экологической безопасности современных транспортных средств. *Транспорт на альтернативном топливе*. №1. 66-70.
18. **Mousazadeh H.** 2014. Clean Cities Alternative Fuel Price Report. US Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy. 17.
19. **Лукшо В.А.** 2011. Исследование показателей двигателя с искровым зажиганием при работе на газовых топливах. *Транспорт на альтернативном топливе*. №8 (24). 28-33.

20. **Марков В.А., Шустер В.А. 2009.** Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла. Транспорт на альтернативном топливе. №4 (10). 33-37.
21. **Belodedov V., Nosko P., Boyko G., Fil P., Mazneva M., 2013.** Parameter optization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. Motrol. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol.13, №4, Lublin, 18-24.
22. **Аулин В.В. 2015.** Исследование изменения мощности дизеля автомобилей, работающих в нестационарных условиях. Motrol. Commission of Motorization and Energetic in Agricultures. Vol.17.No2. Lublin. 103-108.

MOBILE POWER TOOLS WITH ELECTRIC DRIVE IN AGRICULTURE AND THEIR EFFICIENCY

Summary. For agricultural producers is to reduce the actual cost is achieved, inter alia, by reducing the energy intensity of technological operations and improve their environmental component. It is shown that

this can be achieved at the expense of fearl-control-stage transmission of mobile energy resources through the use of a trailer of the electric drive. Miro-tions were analyzed trends in the development of mobile energy resources. Tractors are considered traditional-IU-mechanical transmission and their shortcomings. Consider the-rim tractors and trucks, which the use-form a electrical energy transmission. Ras-looking modern state and the technical and economic performance of cars with hybrid power plant, tractors, electrical and electromechanical transmission. Made economic analysis of the effectiveness of uses of mobile energy means electric-tion, electromechanical or hybrid sending-sion. A comparison with the traditional technology and electric traction drive. Results of methodical approach is the definition of reduced costs, taking into account air pollution by exhaust gas-mi. Showing the amount of work in which the use of agricultural-tion units can be tse-it appropriate to.

Key words: Electromechanical trans-mission, economic efficiency, environmental performance, reduced costs.