

Розроблена нами авторська модель підвищення якості проектно-конструкторської підготовки майбутніх інженерів-механіків в аграрних ВНЗ з використанням модульного навчання має певну закономірність. Усі її компоненти розташовані в порядку послідовності: від нормативно-цільового до результативного. Однак зв'язок прослідковується не тільки між трьома компонентами моделі, але й усередині кожного з них, забезпечуючи просування від одного елемента до іншого по зазначеному напрямку. Визначений нами зв'язок усіх структурних складових компонентів і елементів у моделі створює її цілісність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брушлинский А. В. Мышление и прогнозирование / А. В. Брушлинский. – М. : Мысль, 1979. – 230 с.
2. Загвязинский В. И. Идея, замысел и гипотеза педагогического исследования / В. И. Загвязинский, А. Ф. Закирова // Методология педагогики. – М. : Педагогика, 1997. – С. 50-57.

УДК 631.17.004.9

МОБІЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

*Гавриш В.І., д.е.н., професор, Шатохін М.Ю., асистент
Миколаївський національний аграрний університет*

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

робіт, за яких їх використання аграрними формуваннями може бути доцільним.

Для сельскохозяйственных товаропроизводителей актуальным является уменьшение себестоимости достигается, в том числе, путем уменьшения энергоемкости 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. Рассмотрены современное состояние и технико-экономические показатели автомобилей с гибридной энергетической установкой, тракторов электрической и электромеханической 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.

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

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

Тому у світі тривають роботи із застосування тягового електроприводу, у тому числі електромеханічних трансмісій, які володіє рядом переваг перед 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 напрацювання на відмову. Застосування електродвигунів в мобільних машинах сприяла надійність, простота в обслуговуванні і екологічність. Це дало поштовх до розвитку нової гілки розвитку автомобілебудування - гібриди. Вони володіють високими динамічними характеристиками, низькою витратою палива, великим запасом ходу. Тому актуальним є економічне та екологічне обґрунтування застосування таких мобільних енергетичних засобів.

Аналіз світових тенденцій розвитку мобільних енергетичних засобів показує, що вдосконалення техніки здійснюється в напрямку енергозбереження, ресурсозбереження та створення машин з екологічно безпечними параметрами. Основним критерієм створення нової вітчизняної сільськогосподарської техніки стає її конкурентоспроможність по відношенню до зарубіжних виробників.

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

Тому для забезпечення впровадження сільськогосподарської техніки з високими екологічними та економічними показниками, необхідно обґрунтування доцільності використання перспективних видів мобільних енергетичних засобів.

Метою роботи є аналіз стану мобільних енергетичних засобів, які використовують електричну енергію трансмісії та розробка методики оцінки їх еколого-економічної ефективності.

Найбільш проста та поширена схема: дизель – генератор – електромотор – редуктор – ведучий міст [1]. Вона 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 найпростіша та дешева.

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

На МТЗ створено трактор з електромеханічною трансмісією МТЗ-3023, якій 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

Показник	Беларус-3023	Беларус-3022Д
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 сільськогосподарських 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 стосовно трактора ХТЗ-17022 показало, що запропонована трансмісія дозволяє зменшити питому витрату палива (20,4%) при незначному збільшенні продуктивності (6,7%) (табл. 2).

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].

Таблиця 2

Порівняння орного машинно-тракторного агрегату на базі ХТЗ-17022 з механічною та електромеханічною трансмісією

Показник	Значення	
	Механічна трансмісія	Електромеханічна трансмісія
Склад машинно-тракторного агрегату	ХТЗ-17022+ПЛН-5-35	
Вид роботи	Оранка	
Тип ґрунту	Чорнозем суглинок	
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

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

Прикладом першого напрямлення 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. Він обладнаний паливними елементами. Вони 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 приходиться платити. 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 та частих гальмуваннях, що близько до умов роботи в аграрному бізнесі. За даних умов економія палива сягає 40 %. Дані деяких гібридних автомобілів наведено в табл. 3 (за даними рекламних буклетів).

Таким чином можна констатувати, що створені та 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.

Техніко-економічні характеристики гібридних автомобілів

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

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

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

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

де: P – витрати на поточний та капітальний ремонт;

$З$ – заробітна плата;

$Ц$ – ціна палива;

B – витрата палива;

$BГ$ – економічний збиток від забруднення атмосфери токсичними компонентами відпрацьованих газів;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

K – капітальні вкладення.

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

Забруднення атмосфери здійснює значні соціально-економічні та матеріальні збитки. Економічні збитки від забруднення атмосферного повітря визначається за наступною залежністю [17]:

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

де: γ – нормативна константа для переведення відпрацьованих газів в грошову оцінку, у.о./у.т;

σ – 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 компонента відпрацьованих газів;

A_i – коефіцієнт відносної агресивності i -го компонента 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 та ціна компонентів відпрацьованих газів

Парникові гази	Показник агресивності	Ціна, EUR/т
Вуглекислий газ (CO ₂)	1	32
Метан (CH ₄)	23	161
N ₂ 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 в крупних аграрних формуваннях.

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

У світовій практиці автомобілебудування широко ведуться роботи по створенню ефективних гібридних автомобілів. Найбільші автомобільні компанії світу ведуть розробку електромобілів. Застосування подібного

електроприводу дозволяє принципово вирішити екологічні та 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. Ксєневич, И.П. Механические трансмиссии с бесступенчатым регулированием передаточных чисел между смежными ступенями коробки передач / И.П. Ксєневич // *Мобильная техника*. – 2004. – № 1. – С. 21–29.
3. Ксєневич, И.П. Идеология проектирования электромеханических систем для гибридной мобильной техники / И.П. Ксєневич, 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*. - № 1, 2010. - 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. Украине – новый 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. Третьяк В. Энергоэффективный трактор / В. Третьяк // 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.