УДК 621.314.58

ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ З КОМБІНОВАНОЮ ЕНЕРГОУСТАНОВКОЮ

В.Б. Павлов[1], докт. техн. наук, **М.В. Третяк**[2], інж.
1, 2 – Ін-т електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Проведено аналіз позитивних та негативних показників різних комбінованих систем енергоживлення, розглянуто питання щодо доцільності їхнього використання у сільськогосподарських машинах. Библ. 4, рис. 5.
Ключові слова: електротрансмісія, комбінована система енергоживлення, сільськогосподарська машина.

Аналіз світових тенденцій розвитку транспортних засобів показує, що головною задачею сучасного автомобілебудування на сьогоднішній день є рішення екологічних проблем та проблеми зростання цін на традиційні види пального.

Сьогодні існує декілька головних шляхів екологічно чистого автотранспорту:

- на біопаливі;
- на водні;
- на електрохімічних джерелах та паливних елементах;
- з комбінованими (гібридними) енергоустановками.

При цьому необхідно зазначити, якщо біопаливо більш-менш з перемінним успіхом впроваджується на автотранспорті, то застосування водневого палива після нещодавньої ейфорії зійшло на нівець через низку проблем, однією з яких є складність та вартість отримання водню. Електрохімічні джерела енергії дають змогу створювати екологічно чисті транспортні засоби, але енергетичні характеристики та вартісні показники залишають бажати кращого, незважаючи на безперервні дослідження як у науковому, так і в технологічному напрямках.

Саме тому комбіновані енергоустановки можна вважати альтернативним варіантом покращення екологічності та підвищення ефективності транспортних засобів. Таким чином, найефективнішим на сьогоднішній день та найближчу перспективу рішенням щодо економії палива та зниження рівня викиду шкідливих речовин є застосування комбінованої (гібридної) енергетичної системи – гібридного приводу. Під гібридною енергоустановкою прийнято розуміти наявність на транспортному засобі двох джерел енергії – двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та накопичувача енергії. Як показує практика, найбільш економічно та технічно доцільними є дизель-електричні енергоустановки [2, 4].

Далі проведено аналіз позитивних та негативних показників різних комбінованих систем енергоживлення та розглянуто питання щодо доцільності їхнього використання у сільськогосподарських машинах.

Зазначимо, що розробниками сучасних комплектів тягового електроустаткування для транспорту з комбінованими енергоустановками використовуються декілька типових структурних підходів. Відповідно системи тягового приводу для гібридних транспортних засобів за своєю конструкцією поділяють на послідовні, паралельні та комбіновані.

Послідовна кінематична схема гібридної енергетичної установки виключає механічний зв’язок коліс з первинним джерелом енергії (наприклад, ДВЗ). Двигун є джерелом енергії для генератора, котрий, у свою чергу, живить електродвигуни приводу коліс. Між генератором та електродвигуном (електродвигунами) приводу розташований накопичувач енергії (батарея акумуляторів або суперконденсаторів). Накопичувач акумулює надлишки електроенергії, що виробляє генератор, отримує енергію рекуперації при гальмуванні, забезпечує пікові навантаження на колесах. Схема дає змогу стабілізувати режим роботи первинного двигуна в сфері максимальної паливної ефективності та мінімальних викидів, виключити конструктивні елементи механічної передачі: коробки передач, вали, редуктори і т.п. Мож-

© Павлов В.Б., Третяк М.В., 2011

ливе використання ДВЗ меншої потужності при збереженні моменту приводу. Впровадження такої схеми найбільш просте, тому що можна забезпечити будь-яку компоновку елементів приводу (нема передачі енергії через механічний канал). Електрична схема також доволі проста, може бути застосована як з ДВЗ, так і з альтернативними джерелами енергії (паливними елементами і т.п.). Недоліками схеми є подвійне перетворення енергії (теоретично – нижчий ККД), необхідність застосування електромашин та силового перетворювача на повну потужність приводу, відносно висока ціна комплекту тягового обладнання. Послідовна схема найбільш ефективна при русі транспортного засобу в режимі зі змінними навантаженнями. У такому випадку її позитивні якості значно перевищують недоліки, а енергія рекуперативного гальмування компенсує недостатньо високий ККД у стаціонарному швидкісному режимі. Послідовна схема електротрансмісії гібридної силової установки наведена на рис. 1.

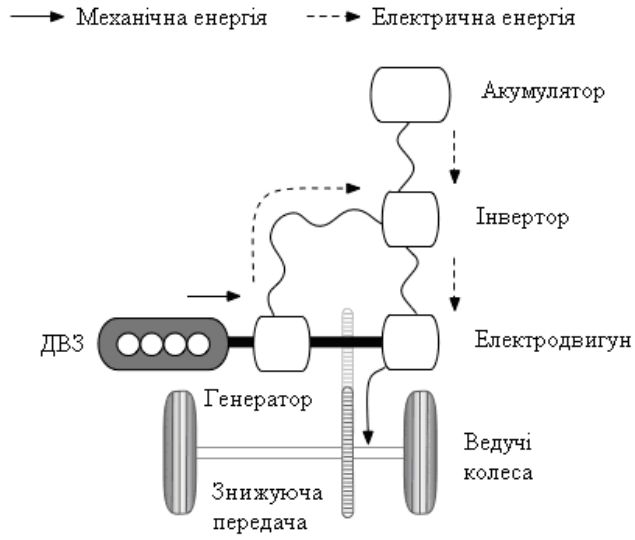

Рис. 1

Паралельна схема забезпечує передачу енергії на колеса як від джерела механічної енергії (ДВЗ), так і паралельно від електродвигуна. При цьому накопичувач енергії працює так, як у послідовній схемі. Електродвигун компенсує нерівномірності роботи ДВЗ та недостатній момент, забезпечуючи плавність ходу та економію палива за рахунок енергії накопичувача, отриманої при рекуперативному гальмуванні. При малих обертах можливий рух транспортного засобу тільки від електродвигуна, з приєднанням до роботи ДВЗ при досягненні достатньої швидкості руху. Схема має відносно високий ККД та добрі масогабаритні показники; відносно недорога (застосовується електрообладнання тільки на частину повної потужності). Недоліком схеми є складність механічного узгодження роботи ДВЗ та електропривода, обмеження в компоновці, необхідність застосування пристроїв механічного узгодження (коробок передач спеціальної конструкції). Правда, від узгодження роботи ДВЗ та електропривода можна відійти, забезпечивши передачу ними моменту на різні осі (колеса), проте такий прийом не завжди прийнятний за умовами розміщення тягового обладнання та балансу мас транспортного засобу. Також істотним недоліком схеми є нестабільність роботи ДВЗ, відповідно погіршення показників викидів у порівнянні з послідовною схемою. Використання паралельної схеми виправдане для транспортних засобів, що працюють на маршрутах із середньою та більш низькою інтенсивністю руху (у порівнянні з послідовною схемою). Паралельна схема, очевидно, застосована тільки з двигунами із обертовим валом (ДВЗ) та не підходить для альтернативних джерел енергії. Паралельна схема електротрансмісії гібридної силової установки зображена на рис. 2.

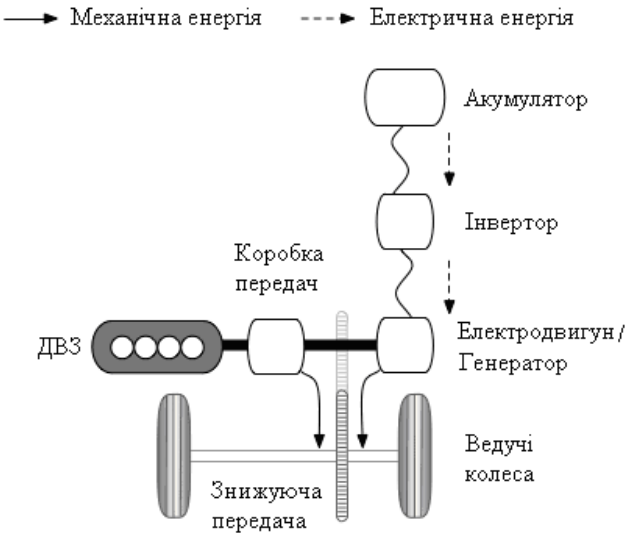

Рис. 2

Комбінована схема поєднує в собі переваги послідовної та паралельної схем за рахунок спеціального пристрою узгодження

роботи ДВЗ та електродвигуна (наприклад, несиметричний планетарний диференціал). Пристрій узгодження дає змогу перерозподіляти потоки потужності між двома джерелами енергії (тепловий двигун та електричний накопичувач) та двома каналами передачі енергії на колеса (механічним та електромеханічним) і передавати потужність між ними в будь-якому напрямку. У такій схемі можлива як робота від одного джерела енергії (ДВЗ або накопичувач електроенергії), так і від двох одразу (ДВЗ та накопичувач), а обертання передається на колеса як механічним, так і електричним двигуном або тільки одним з них (будь-яким). Така схема забезпечує високу економічність роботи, максимальну гнучкість у режимах роботи системи тягового приводу, але є досить складною в розробці та реалізації, потребує створення складних та дорогих механічних елементів. Комбінована схема електротрансмісії гібридної силової установки зображена на рис. 3.

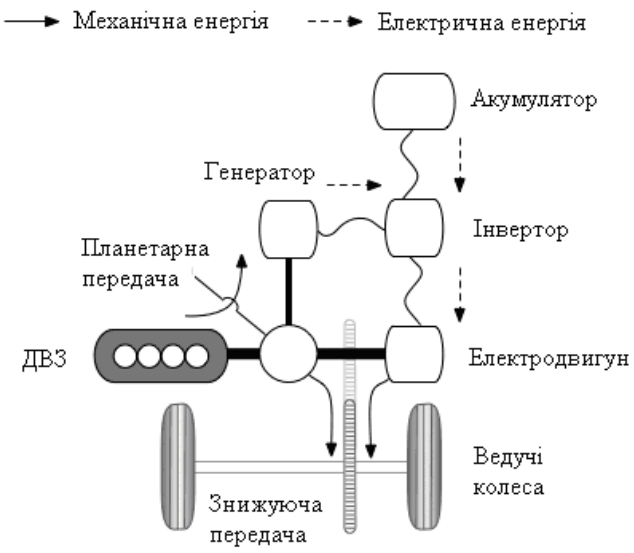

Рис. 3

Як показує практика, паралельна та комбінована системи в основному застосовуються в транспортних засобах невеликої потужності та вантажопідйомності (легкові автомобілі та легкі розвізні вантажівки). У той же час послідовна схема частіше застосовується на транспорті великої потужності (100 кВт та більше) та підвищеної вантажопідйомності.

Одним з недоліків комбінованої схеми є необхідність застосування спеціального механічного пристрою узгодження роботи ДВЗ та електродвигуна. Вказаний пристрій – відносно дорога та складна конструкція як у виготовленні, так і в експлуатації, що ускладнює можливості використання такої схеми на електротранспорті великої потужності.

Авторами запропоновано спрощену комбіновану схему гібридного приводу (на рис. 4 зображена схема електромобіля «Соболь»), яка дає змогу здійснювати перераховані вище режими руху електротранспорту [3]:

- гібридний режим – зрушення з місця на тяговому електродвигуні (ТЕД) з автоматичним переходом на дизельний двигун при швидкості 20…30 км/год, живлення електродвигуна здійснюється від тягової акумуляторної батареї (ТАБ);
- транспортний режим на дизельному двигуні зі швидкістю < 30 км/год, при цьому ТЕД переводиться в режим генератора та заряджає ТАБ;
- при збільшенні навантаження вище певного значення (наприклад, підйом навантаженої машини по схилу) вмикається електродвигун та відбувається спільна робота дизеля та ТЕД;
- рух у режимі «чистого» електромобіля – рукоятка коробки передач встановлюється в нейтральне положення, тяговий електродвигун від'єднується від дизеля, живлення ТЕД здійснюється від тягової акумуляторної батареї, енергоємність якої визначає пробіг електромобіля в екологічно чистому режимі руху.

Зазначимо, що перші три пункти описують режими руху машини за паралельною схемою гібридного приводу. У той же час запропонована структура дає змогу здійснювати (при необхідності) рух також за послідовною схемою. При цьому загальне керування електродвигуном здійснюється за останнім пунктом, але одночасно з цим дизель запускається в стаціонарному режимі роботи (на номінальних обертах) та генератор заряджає тягову акумуляторну батарею.

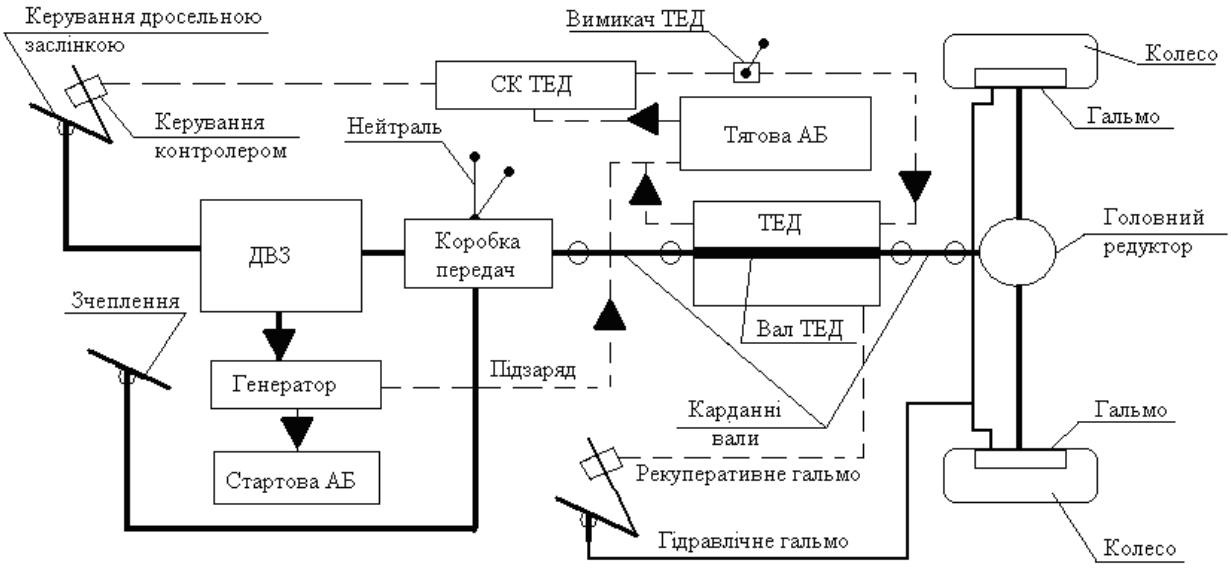

Рис. 4

Запропонована схема комбінованої системи енергоживлення дала змогу з мінімальною переробкою силової частини автомобіля, мінімальними економічними та часовими витратами створити гібридний електромобіль (разом з НТУ «КПІ») на базі вантажопасажирського автомобіля «Соболь», який пройшов успішні випробування та в 2011 році був відзначений дипломом торговельно-промислової палати України.

Слід також зазначити, що комбіновані системи енергоживлення все ширше використовуються не тільки в машинах автотранспортного призначення, а й в інших галузях, наприклад, у важкій військовій техніці (тягачі, самохідні артустановки, бронетранспортери), залізничному транспорті (маневрові тепловози), у машинах сільськогосподарського призначення (трактори). Найчастіше в цих випадках ефективність техніки досягається за рахунок об'єднання в одній структурній схемі електротрасмісії та комбінованого джерела, що дає змогу покращити ергономіку керування та економію енергоресурсів.

Так, наприклад, у сільськогосподарському тракторі впровадження електротрансмісії дає змогу:

- проводити роботу з високим ККД у всьому діапазоні швидкостей руху;
- знизити експлуатаційні витрати на технічне обслуговування, ремонт і видаткові матеріали;
- зменшити буксування коліс, знизити витрату палива на одиницю виконаної роботи (до 30 %);
- ефективно керувати режимами роботи дизеля залежно від споживаної потужності;
- забезпечити безступінчасте регулювання швидкості агрегату;
- поліпшити техніко-економічні показники та підвищити надійність роботи трактора в цілому.

Таким чином, враховуючи той факт, що в сільськогосподарській машині з електротрансмісією привод коліс здійснюється тільки електродвигунами, можна з великою ймовірністю констатувати, що тут найбільш застосовна послідовна схема гібридного приводу, в котрій дизель, працюючи в стаціонарно-оптимальному режимі за споживанням органічного палива, забезпечує тривалу роботу машини у номінальному режимі, а під час перехідних режимів підключається накопичувач енергії (акумуляторна батарея).

При цьому ще одним позитивним моментом послідовної схеми в даному випадку є те, що стаціонарний дизель-генератор, встановлений на головному модулі, дає змогу живити електроенергією інші тягові механізми, розміщені на окремих агрегатах всього комплексу [1]. Приклад такого виконання гібридної системи показаний на рис. 5, де зображено ком-

плекс посіву за один прохід (а – тягово-транспортний засіб; б – пристрій для внесення рідких добрив; в – пневмосівалка; г – борона).

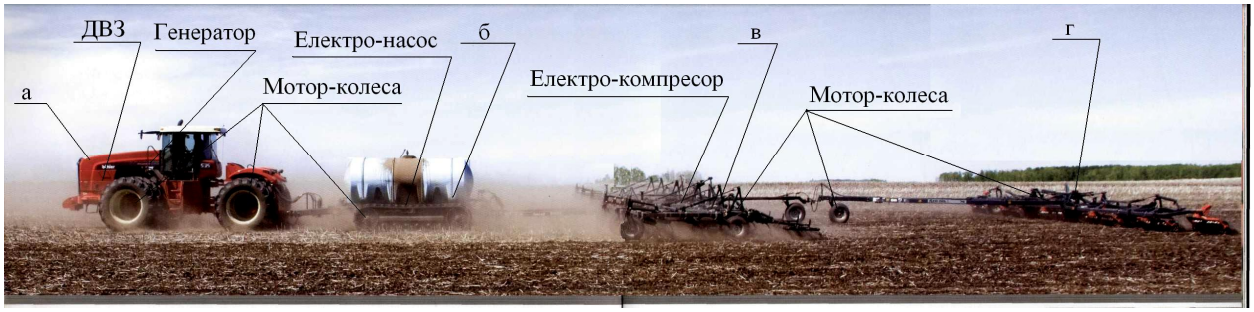

Рис. 5

У результаті можна зазначити, що комбіновані системи енергоживлення, маючи низку позитивних якостей, дають змогу підвищити ефективність транспортних засобів, у тому числі й машин сільськогосподарського призначення, де покращуються не тільки ергономічні показники, а й підвищується ККД системи та знижується споживання органічного палива.

1. *Ксеневич И.П., Ипатов А.А., Изосимов Д.Б.* Технологии гибридных автомобилей: состояние и пути развития отечественной автомобильной техники с комбинированными энергоустановками // Мобильная техника. – 2003. – № 2, 3.
2. *Шидловский А.К., Згуровский М.З., Яндульский А.С., Павлов В.Б., Попов А.В., Кудря С.А., Головко В.М.* Первый украинский грузопассажирский гибридный электромобиль // Техн. електродинаміка. Темат. вип. – 2008. – С. 65–67.
3. Пат. 25188, Україна, МПК(2006) H01M 10/46 B60K 6/00. Система приводу гібридного електромобіля / Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Павлов В.Б., Попов О.В., Головко В.М. Ін-т відновлюваної енергетики НАН України. – 2007. Бюл. № 11.
4. *Pavlov V.B., Popov A.V.* Hybrid power supplies of electro-mobiles // SAE 2007 World Congress – April 16–19 – Detroit, MI, USA. – P. 456–464.

УДК 621.314.58

В.Б. Павлов[1], докт. техн. наук, **М.В. Третяк**[2], инж.
1, 2 – Ин-т электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Транспортное средство с комбинированной энергоустановкой

Проведен анализ положительных и отрицательных показателей различных комбинированных систем энергопитания и рассмотрен вопрос о целесообразности их использования в сельскохозяйственных машинах. Библ. 4, рис. 5.

Ключевые слова: электротрансмиссия, комбинированная система энергопитания, сельскохозяйственная машина.

V.B. Pavlov[1], **M.V. Tretiak**[2]
1, 2 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

A vehicle with a combined power system

Following the analysis of positive and negative indicators of various combinations of energy systems and considered the issue that the feasibility of their use in agricultural machines. References 4, figures 5.

***Keywords*:** electric transmission, the combined system of energy supply, agricultural machine.

Надійшла 1.08.2011
Received 1.08.2011