

УДК 629.113

## Концепція розвитку сільськогосподарської техніки з використанням гібридного приводу

М.С. Сорокін<sup>1</sup>, М.Л. Лисиченко, В.В. Ясак

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка (м.Харків, Україна) <sup>1</sup>sorokin.ekt@gmail.com

Сучасні тенденції розвитку світової економіки змушують все більше відмовлятися від традиційних джерел енергії, переходячи до нетрадиційних та відновлювальних. Одним з перспективних напрямків є все більше застосування електричної енергії, виробництва якої, у зв'язку із сучасним розвитком науки і техніки є найбільш економічно і екологічно вигідним.

В статті розглянуто сучасні напрямки розвитку гібридного електроприводу, основні аспекти проектування, та розглянуто можливість використання та застосування його в сільськогосподарській техніці. На основі аналізу літератури було розглянуто низку сучасних підходів, щодо конструкції тягових електричних двигунів, проаналізовано основні важливі моменти та розглянуто етапи розробки та застосування мотор-колес для приводів начіпних агрегатів, що використовуються під час виконання польових робіт з великими енергозатратами, наприклад оранка або культивування. Таким чином, можна зменшити потужність силового агрегату основного двигуна, знизити вартість тягових тракторів, за рахунок, спрощення конструкції та зменшення їх вартості. Економічний ефект слід очікувати і від зменшення витрат пального та широкому виборі відновлювальних джерел електроенергії.

Спираючись на наведені данні при розробці та подальшому дослідженні гібридного електроприводу для сільськогосподарської техніки, дозволить розробити систему, яка дозволить зменшити витрати традиційних видів палива та зменшить забрудненість навколишнього середовища. Розвиток та впровадження електроприводу в сільське господарство, для використання на транспортних засобах, є найбільш перспективним та сучасним напрямком розвитку в сільськогосподарському машинобудуванні.

**Ключові слова:** гібридний привід електропривод, мотор-колесо, сільськогосподарська техніка, альтернативні технології, відновлювальні джерела енергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій:** У продовж багатьох років, численні проекти довели, що використання електрприводу для використання у різноманітних транспортних засобах є досить перспективним напрямком у порівнянні з традиційними двигунами внутрішнього згорання. Електродвигуни пропонують зростання функціональності, спрощення кінематичних схем, підвищення енерговикористання. Досить актуальною є проблема відмов від традиційних джерел енергії та перехід на альтернативні, що пов'язано із погіршенням екологічної обстановки, та переходом до більш безпечних, з точки зору викидів в атмосферу, технологій.

Починаючи з 1997 року (початок серійного випуску першого легкового автомобіля «Toyota Prius») по 2007 рр. з'явилось більше 50 концептів з гібридною силовою установкою і моделей, що дещо серійно випускається. Обсяг їх виробництва постійно зростає, досягнувши більше 700 000 в рік. У цих автомобілях при потужності первинного теплового двигуна (ПТД) на 25-30 % менше, ніж в автомобілях-аналогах, було досягнуте підвищення паливної економічності в середньому на 30-40 % при значному зниженні токсичності тих, що відпрацювали газів [1, 2].

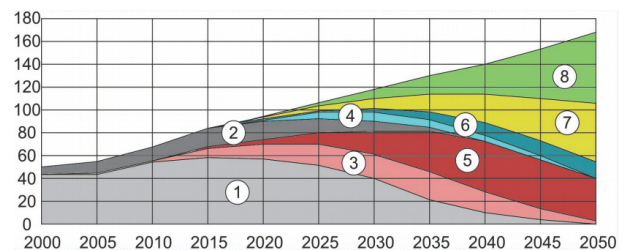


Рис. 1. Структура тенденції зміни виготовлення транспортних засобів в залежності від типу силової установки: 1 – транспортні засоби з двигуном примусового займання; 2 – транспортні засоби з дизельними двигунами; 3 – гібриди з двигуном примусового займання; 4 – гібриди з дизелями; 5 – гібриди PHEV з двигунами примусового займання; 6 – гібриди PHEV, з дизелями; 7 – електромобілі; 8- транспортні засоби з паливними елементами

Однак значні недоліки пов'язані із ускладненням конструкції, збільшенням маси та зростанням ціни призводять до певних обмежень у використанні гібридного приводу на сільськогосподарських тракторах та вантажівках. Також однією з основних вад є те, що швидкість руху сільсько-

господарської техніки досить невелика, тому повноцінно використовувати режим генераторного гальмування, який є головним фактором, що впливає на зарядку батареї під час роботи, а відповідно і на тривалість роботи електроприводу, досить складно.

**Головна частина.** При проектуванні гібридного приводу слід враховувати наступні основні параметри: конструкція приводного двигуна, схема керування, конструкція підвіски, наявність реактивних прискорень, акумуляція енергії.

В якості альтернативного принципу живлення є застосування мотор колеса в приводі сільськогосподарського агрегату з необхідним великим тяговим зусиллям. Основною перевагою використання електродвигунів є унікальна можливість створення гнучкої магістралі для передачі потужності від первинного двигуна, та керуючих команд. В якості приводного електродвигуна доцільно використовувати мотор-колеса, які останнім часом знаходять все більшу популярність



Рис.2 Основні типи розміщення мотор-колеса:  
 а) мотор-колесо розміщено в середині ободу;  
 б) мотор-колесо розміщено на спеціальній конструкції. Для передачі обертального моменту використовуються додаткові механічні конструкції

За своєю конструкцією мотор колеса можуть бути двох основних типів. Якщо конструктивно розміри колеса задовольняють то приводний тяговий двигун розташовують безпосередньо в ободі колеса як показано на рис 2. Така конструкція не потребує використання допоміжних зв'язків для передачі потужності, не потребує використання трансмісії тобто значно спрощується конструкція та зменшуються механічні втрати.

У випадку коли розміри не дозволяють встановити електродвигун безпосередньо в колесі тоді необхідно застосовувати механічну передачу, що буде ускладнювати конструкцію. На практиці частіше за все використовуються подвійні планетарні тягові приводи, які вже мають у складі знижувальні планетарні редуктори, а також мають електроний диференціал. Таким чином, для використання в сільському господарстві найбільш перспективним є саме будова мотор-колеса яку приведено на рис. 3.

Вказана конструкція дає значну свободу конфігурації, за рахунок наявності лише гнучких дрових каналах потужності. [3]

При проектуванні таких приводів велику увагу слід приділяти схемі керування. Вона має відповідати основним вимогам для забезпечення активної безпеки транспортного засобу, раціональному використанню електроприводу, кінематичне узгодження кутових швидкостей і моменту коліс, як при прямолінійному, так і при криволінійному русі транспортного засобу (умова виключення виникнення циркуляції потужності); – забезпечення контролю тяги коліс (обмеження максимально допустимого моменту, забезпечення курсової стійкості, енергоощадний метод керування електромашинами з метою підвищення ККД в робочих режимах.

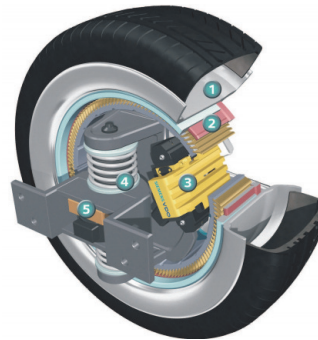


Рис. 3 Мотор-колесо eCorner Siemens VDO:  
 1 – обід колеса; 2 – електродвигун; 3 – електричне гальмо; 4 – елемент підвіски; 5 – елемент керування або кріплення

Одним з недоліків наведеної конструкції є збільшення не підресореної ваги. Однак це є досить неоднозначним ствердженням оскільки, при розрахунках елементів підвіски не враховуються додаткові не підресорені маси [4].

При використанні мотор-колес виникає великий реактивний момент і коефіцієнт моменту інерції мас, що обертаються, який вказує на те, що при розгоні істотна частина потужності витрачається на подолання кінетичної енергії обертючих частин електромашин і при розрахунку елементів систем шасі необхідно враховувати гіроскопічний момент, що виникає у мотор-колесах. У порівнянні з класичним диференціальним приводом коліс реактивний момент при використанні мотор-колеса буде вищий, що накладає додаткові обмеження на направляючий апарат підвіски. Направляючий апарат підвіски сприймає зусилля, як при розгоні, так і у зворотному напрямі - при гальмуванні, величина якого зазвичай має порівнянне значення або вище - у разі екстреного гальмування. Таким чином, направляючий апарат підвіски, незалежно від наявності електроприводу, повинен бути здатний сприймати дію реактивного моменту електродвигуна.

Важливим питанням при розробці гібридного електроприводу є використання тягових батарей. Відомо, що при гальмуванні за допомогою мотор-колеса лише частину енергії можна використовувати в для зарядки батареї, а іншу частину при динамічному гальмуванні необхідно розсіяти в якості тепла на гальмівних резисторах та елементах обмоток електродвигуна, що приводить до збільшення електричних втрат.

Для вирішення даної проблеми слід використовувати комбіновані елементи живлення які складаються із Li-pol батарей та суперконденсаторів. Суперконденсатори на можуть набирати значну кількість енергії та потім можуть швидко заряджатись та розряджатись, що може значно зменшити втрати електроенергії [5].

Одним із основних недоліків використання акумуляторних батарей є їх велика вага. Наприклад, батарея Tesla Model S потужністю 85 кВт має вагу близько 450 кг, але частину цієї ваги можна компенсувати за рахунок зменшення об'ємів дизельного пального та зменшенню розмірів і потужності основного двигуна трактора.

Також можна запозичити технологію маршрутної підзарядки у міських автобусів Європи, яку наведено на рис. 4. Розташування таких станцій з певним інтервалом маршруту руху може забезпечити підзарядку автобусів протягом 5-10 хвилин до 45-50 кВт.

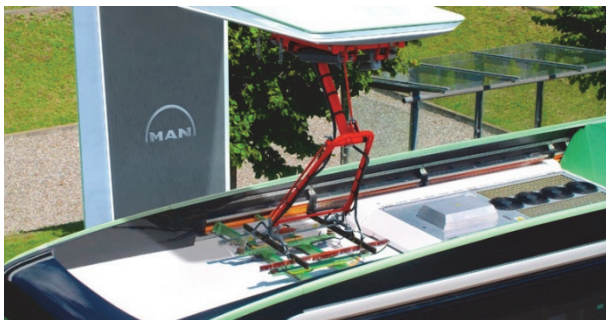


Рис. 4. Маршрутна зарядна вежа міського автобусу E-mobility компанії MAN.

Система розроблена німецькою компанією MAN, та активно впроваджується таких містах як Гамбург, Відень, Мюнхен, Берлін та інші. Розташування таких станції на задалегідь відомому маршруті дозволяє при певних корегуваннях розкладу руху майже повністю забезпечити заряд міських автобусів протягом доби [8].

Оскільки в кожному господарстві розташування полів також є постійним, то застосування таких систем в певних місцях можуть під час виконання сільськогоспробіт повністю задовольнити потреби в заряді акумуляторних батарей.

**Висновок.** Таким чином, розглянувши основні напрямки розвитку, та зробивши аналіз існуючих технологій, щодо можливості застосування гібридного приводу в сільськогосподарський

техніці ускладнено у зв'язку з особливостями умовами роботи. Невеликі швидкості руху ускладнюють використання генераторного гальмування, збільшення ваги тракторів за рахунок встановлення акумуляторних батарей.

Під час аналізу можливостей застосування треба приділяти увагу таким аспектам як:

- спосіб виконання (намагатися зменшити кількість механічних елементів зв'язку);
- схема та алгоритм взаємодії ДВС та електродвигун для узгодження кутових швидкостей;
- аналіз та розрахунки підвісочного апарату, для забезпечення належної плавності ходу;
- можливість встановлення та обмеженої кількості акумуляторних батарей, для забезпечення найбільшого запасу ходу.

Однак повністю відмовитись від ДВС складно. Тобто використовувати гібридний електродвигун можна, як при виконанні важких сільськогосподарських роботах в якості допоміжного інструмента, що дозволить зменшити використання паливно-мастильних матеріалів. Одним з перспективних напрямків розвитку є використання мотор-колес в якості активних рушійів. Можливість створення гнучких енергетичних шляхів дозволяє у повній мірі використовувати всі переваги електродвигунів. Запропонована технологія дозволить використовувати тягові трактори меншої потужності, що може знизити їх вартість, а також значно зменшити шкідливі викиди в навколишнє середовище.

## Література

1. Technology Roadmaps. Electric and plugin hybrid electric vehicles (EV/PHEV) – Paris: OECD/IEA, 2009. – 47 p.
2. Златин П.А. Электромобили и гибридные автомобили / П.А.Златин, В.А.Кеменов, И.П.Ксенович. – М. : Агроконсалт, 2004. – 416 с.
3. Siemens VDO, «Car motors will disappear into the wheels: Siemens VDO starts eCorner development», available on the Internet: <http://www.siemensvdo.com>, December 2006.
4. Проектирование полноприводных колёсных машин: учебник для вузов: в 3 т. / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жеглов и др. / под ред. А.А. Полуняна. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – Т. 1. – 498 с.
5. Бокарев А.И. Исследования, конструкции, технологи. / Журнал Автомобильных инженеров. – М. ООО «Издательский дом ААИ Пресс», №1 (90) 2015. – С. 20 - 25.
6. Thomson W.T. Theory of Vibration with Applications. – Prentice-Hall, 1993. – 546 p.
7. Барский И.Б. Сцепления транспортных и тяговых машин / И.Б. Барский, С.Г. Борисов, В.А. Галягин и др. / под ред. Ф.Р. Геккера и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
8. Smart City Wien – Ready for the future! / [www.smartcity.wien.gv.at](http://www.smartcity.wien.gv.at).

## Анотація

**Концепция развития сельскохозяйственной техники  
с использованием гибридного привода****М.С. Сорокин, Н.Л. Лисиченко, В.В. Ясак**

Современные тенденции развития мировой экономики вынуждают все больше отказываться от традиционных источников энергии, переходя к нетрадиционным и возобновляемым. Одним из перспективных направлений есть все большее применение электрической энергии, производство которой, в связи с современным развитием науки и техники является наиболее экономически и экологически выгодным.

В статье рассмотрены современные направления развития гибридного электропривода, основные аспекты проектирования, и рассмотрена возможность использования и применения его в сельскохозяйственной технике. На основе анализа литературы были рассмотрены ряд современных подходов, относительно конструкции тяговых электрических двигателей, проанализированы основные важные моменты и рассмотрены этапы разработки и применения мотор-колес для приводов прицепных агрегатов, которые используются во время выполнения полевых работ с большими энергозатратами, например пахота или культивация. Таким образом можно уменьшить мощность силового агрегата основного двигателя, снизить стоимость тяговых тракторов, за счет, упрощения конструкции и уменьшения их стоимости. Экономический эффект следует ожидать и от уменьшения расхода горючего и широком выборе возобновляемых источников электроэнергии.

Опираясь на приведенные данные при разработке и дальнейшем исследовании гибридного электропривода для сельскохозяйственной техники, позволит разработать систему которая позволит уменьшить расходы традиционных видов топлива и уменьшит загрязненность окружающей среды. Развитие и внедрение электропривода в сельское хозяйство, для использования на транспортных средствах, является наиболее перспективным и современным направлением развития в сельскохозяйственном машиностроении.

**Ключевые слова:** *гибридный привод, электропривод, мотор-колесо, сельскохозяйственная техника, альтернативные технологии, возобновляемые источники энергии.*

## Abstract

**Conception of development of agricultural technique  
with the use of hybrid-drive****M.S. Sorokin, N.L. Lisychenko, V.V. Yasak**

Current trends of world economy development are forcing refuse more and more traditional power sources, to pass to nonconventional and renewable. Application of an electrical energy is one of the perspective directions. Production of an electrical energy is most economically and ecologically profitable because modern science and technology develop.

The modern directions of development the hybrid electric drive and the main aspects of designing in article are considered. The possibility of use and application of the hybrid electric drive in agricultural equipment is considered also. A number of modern approaches, concerning a design of traction electric motors on the basis of the analysis of literature were considered. The main important points were analysed. Development stages and applications the motor wheels for trailed aggregates of drives were considered. Drives of trailing aggregates during accomplishment of field works (for example a land plowing or cultivation) with big energy costs are used. Thus capacity of the power aggregate of the main engine can be reduced the cost of tractors tractive can be reduced if to simplify their construction and to decrease their cost. Economic effect should be expected from reduction of a petrol consumption and a wide choice of the electric power renewable sources.

The provided data in case of development and a further research of the hybrid electric drive for agricultural machinery can be used. It will allow to develop system of reduction traditional types an expense fuel and system of reduction the environment contamination. Application of the electric drive on vehicles agriculture is the perspective and modern direction of development in agricultural mechanical engineering.

**Keywords:** *hybrid electrodrive, motor-wheel, agricultural technique, alternative technologies, renewable energy sources.*

Представлено від редакції: Ю.Є. Мегель / Presented on editorial: Ju.Є. Megel

Рецензент: О.М. Мороз / Reviewer: O.M. Moroz

Подано до редакції / Received: 10.10.2016