

УДК 629.113.65

О. П. Кондратенко

МОЖЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ СПЕЦІАЛЬНОГО ТИПУ

Визначаються шляхи реалізації гібридної установки паралельного типу для транспортного засобу з застосуванням електричних машин спеціальної конструкції.

К л ю ч о в і с л о в а: гібридна трансмісія, електричний диференціал.

Постановка проблеми. Питання екології останнім часом все більше впливають на виробництво автомобілів. Так, котрий рік поспіль всі компанії-виробники автомобілів, що беруть участь у Женевському автосалоні, висувають основним гаслом своїх презентацій екологічність автомобілів [1; 9].

Водночас світовий досвід останніх років показує, що подальше насичення внутрішніх військ окремими видами зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) загального призначення вже не дає бажаних результатів. Внутрішні війська відчувають гостру потребу в принципово нових спеціальних (поліцейських) видах ОВТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що потреба у максимальній потужності двигуна під час роботи автомобіля виникає періодично, а всі вихідні параметри у процесі проектування автотранспортного засобу прив'язуються до очікуваної потужності [2]. Разом з тим використання максимальної потужності двигуна під час руху в міських умовах становить 30...50 %, за містом воно дорівнює 40...70 % при русі на підйом, розгонах та при роботі на повному навантаженні [3]. Тому виробники значну увагу приділяють сьогодні новим типам двигунів.

За принципом роботи гібридні двигуни можуть бути паралельними (parallel hybrid) і послідовними (series hybrid) [4; 5]. У послідовному гібриді двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) обертає вал генератора, який може або заряджати батареї, або запускати електричний двигун, що передає крутний момент на трансмісію. У паралельному гібриді ДВЗ працює від паливного бака; водночас батареї живлять електричний двигун [6]. Проведений аналіз показує, що дотепер всі гібридні автомобілі малого й середнього класів, які є у виробництві й у концептуальних моделях, оснащені паралельними гібридними трансмісіями. Оскільки саме такого типу є значний відсоток спеціальних машин, то далі аналізуватимемо можливості і варіанти практичної реалізації паралельних схем.

Мета статті – доведення до наукової спільноти результатів порівняльного аналізу варіантів реалізації паралельних гібридних схем трансмісії з електричною машиною спеціальної конструкції. Термін “гібридний” у даній статті передбачає сполучення теплового й електричного (ЕД) двигунів, які надають рух транспортному засобу. Ці два джерела енергії за необхідністю доповнюють один одного.

Виклад основного матеріалу. Основні труднощі, які необхідно подолати у процесі розробки гібридної енергетичної установки (ГЕУ), пов'язані з якнайкращою реалізацією принципу додатковості для двох різних за принципом дії й характеристиками двигунів – теплового й електричного. Елементарні розрахунки показують, що для машин середнього класу повна необхідна потужність становить близько 100 кВт (це значення не принципове, воно може бути змінене). А от яка частина її повинна належати тепловому, а яка електричному рушію – і підлягає рішенню. Як приклад на рис. 1 наведені розраховані за даними Іжевського автозаводу значення моментів для

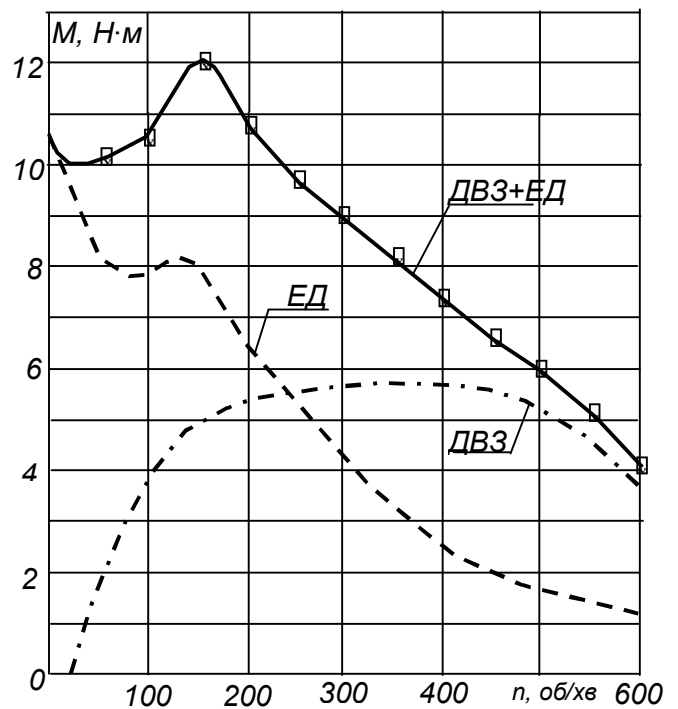


Рис. 1. Значення моментів на валу дослідного зразка гібридного двигуна

дослідного зразка гібридного легкового автомобіля [7]. Розрахунки проведені з використанням табличного процесора EXCEL у робочій зоні теплового двигуна. Наявність викиду в сумарному графіку (суцільна крива) є підтвердженням недостатнього узгодження тягових характеристик двигунів.

Роботу гібридного приводу можна розділити на чотири зони (рис. 2), у яких система керування відповідно до швидкості руху й заряду батареї функціонує в такий спосіб [6].

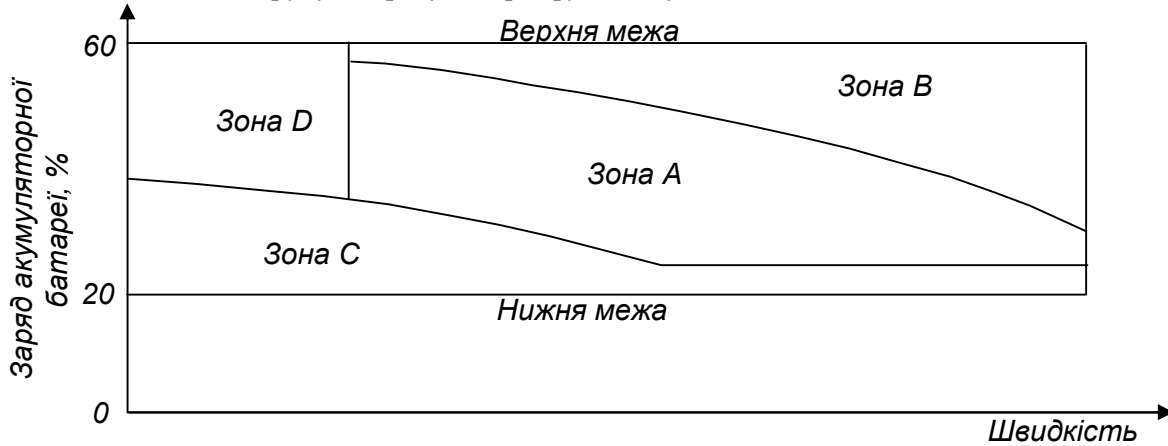


Рис. 2. Зони керування роботою гібридного приводу

Режим роботи ДВЗ під час руху встановлюється таким, щоб енергетичний стан за можливістю втримувався в зоні А (звичайна робота), що відповідає режиму максимальної економії. Коли стан батареї переходить у зону В, дизель-генератор переводиться на режим холостого ходу або взагалі вимикається, і живлення тягового двигуна здійснюється від батареї.

Після переходу стану батареї в зону С дизель переводиться на режим повної потужності. При цьому батарея заряджається доти, поки стан її заряду не перейде в зону А або D [8]. Таким чином, паралельна схема передбачає (рано чи пізно) об'єднання зусиль з приведення транспортного засобу в рух, при цьому можливі такі компоновочні варіанти.

Співвісне розташування приводних двигунів. Реалізацію такого варіанта можна представити у вигляді, запропонованому, зокрема, баварською BMW. Фірмою представлений проект ED (Efficient Dynamics — ефективна динаміка), схематично показаний на рис. 3. В автомобілі восьмициліндровий двигун доповнюється співвісним тяговим електромотором [4]. У цьому варіанті зберігається класичний задній привід з усіма елементами, а додаткова електрична машина вбудовується між тепловим двигуном і коробкою передач.

Особливість схеми у тому, що силовий агрегат може обходитися без важкого й дорогого тягового акумулятора. Замість нього використовується блок суперконденсаторів, які накопичують потужний

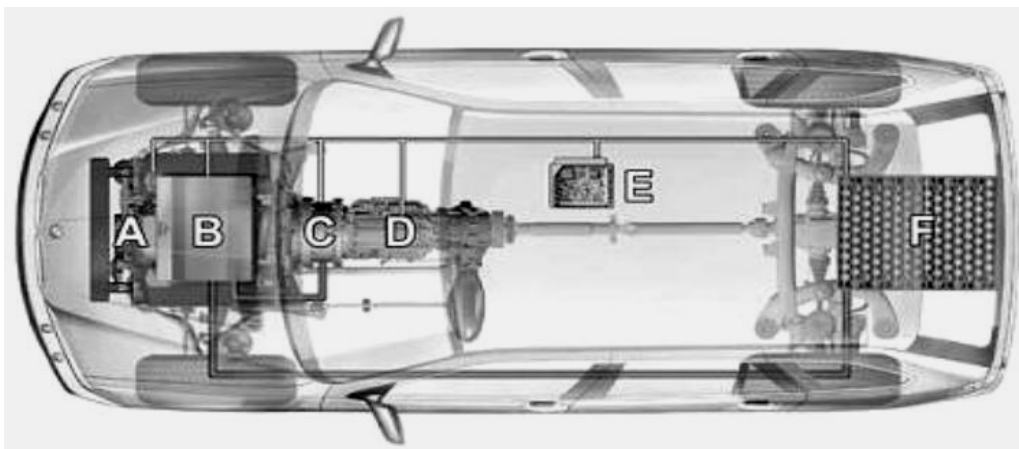


Рис. 3. Варіант паралельної схеми гібридної трансмісії: А – бензиновий мотор; В – перетворювач напруги; С – електромотор-генератор; D – коробка передач; Е – керуючий процесор; F – батарея суперконденсаторів

заряд від електричної машини, що працює в режимі генератора, і за необхідності віддають на ту ж

електромашину високу потужність в режимі тягового мотора.

Роздільне розташування приводних двигунів. Інший варіант ГЕУ автомобіля з паралельною компоновочною схемою ДВЗ та ЕД був розроблений у процесі створення експериментального зразка гібридного автомобіля на базі легкового автомобіля Іж-2126 [7]. Електромеханічні зв'язки відображені на рис. 4. У ньому також обидва двигуни працюють на один вихідний вал ГЕУ, але вони просторово рознесені й з'єднані редуктором.

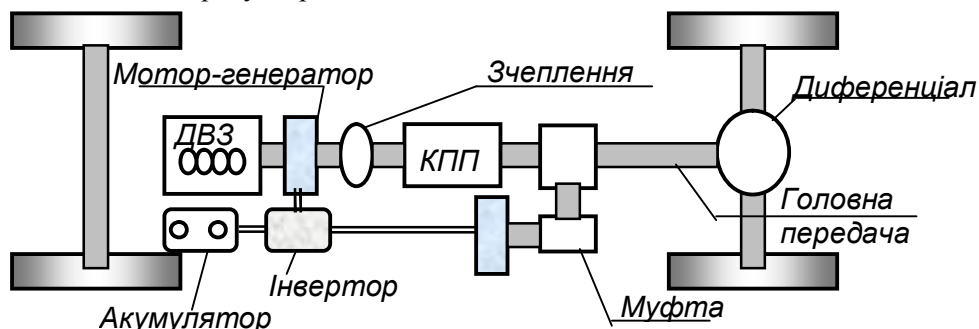


Рис. 4. Структурна схема гібридного приводу з редуктором

За такою схемою в момент початку руху обидва двигуни розганяють автомобіль, а при гальмуванні й русі зі сталими швидкостями ЕД переводиться в режим генератора, який підзаряджає накопичувач електроенергії. Крім того, ЕД у даній конструктивній схемі можна використати для запуску ДВЗ і руху автомобіля без використання ДВЗ у тих зонах експлуатації, де повністю обмежений викид відпрацьованих газів. З вихідного вала ГЕУ крутний момент передається на ведучі колеса через муфту зчеплення, коробку перемикачів передач, карданний шарнір, головну передачу й міжколісний диференціал.

Швидкісні й навантажувальні режими роботи ДВЗ та ЕД у складі ГЕУ істотно залежать від значення передаткового числа редуктора (ланцюгового, шестерневого або ремінного), що з'єднує ДВЗ й ЕД.

Припустимо, що максимальна частота обертання колінчастого вала $n_1^{\max} = 6000 \text{ хв}^{-1}$, максимальна частота обертання вала ЕД $n_2^{\max} = 9000 \text{ хв}^{-1}$. Для одночасного використання двох двигунів необхідне узгодження частот обертання їхніх вихідних валів. У цьому випадку передаткове число

$$i_{\text{пер}} = \frac{n_2^{\max}}{n_1^{\max}} = \frac{9000}{6000} = 1,5.$$

Значення крутного моменту, переданого від ЕД, без урахування механічних втрат у редукторі збільшуватиметься в 1,5 разу. Однак варто враховувати, що настільки ж у редукторі, що погоджує, зменшуватиметься частота обертання. У зв'язку із цим сумарний крутний момент ГЕУ може навіть зменшитися. Розрахована графічна залежність зміни крутного моменту від частоти обертання вихідного вала ГЕУ представлена на рис. 5.

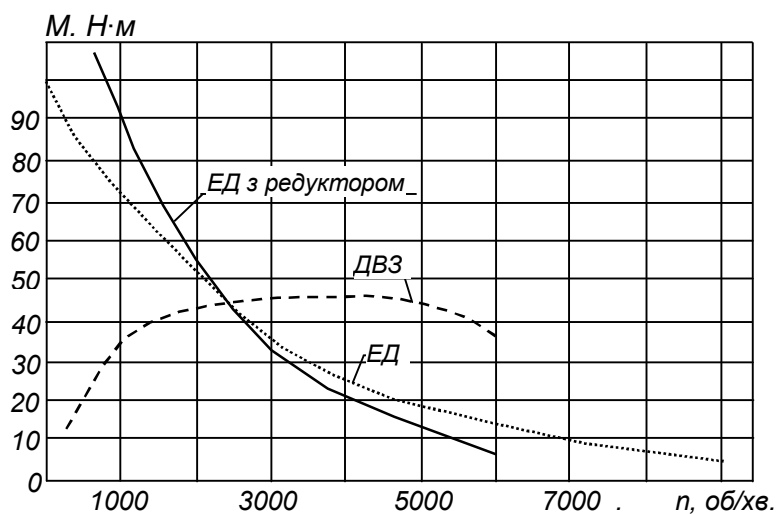


Рис. 5. Залежності крутних моментів ДВЗ, ЕД і крутного моменту, переданого від ЕД через редуктор, від частоти обертання вихідного вала ГЕУ

У розглянутому випадку редуктор, що погоджує, збільшує крутний момент на вихідному валу ГЕУ тільки на частотах обертання, менших 2500 хв^{-1} . Це збільшення впливатиме на тягово-швидкісні властивості у випадку руху автомобіля тільки з малими значеннями швидкостей.

Отже, доцільно відмовитися від такого редуктора і реалізувати в конструкції ГЕУ іншу можливість використання ЕД у діапазоні від 0 до 6000 хв^{-1} . Поліпшений варіант компоновання трансмісії показаний на рис. 6, де введена відцентрова муфта подвійної дії.

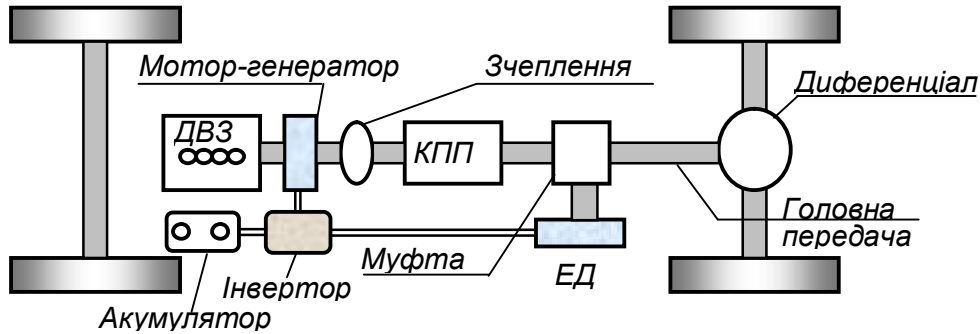


Рис. 6. Прямий привод від електродвигуна

Гібридна енергетична установка з розділеним приводом. Розглянуті варіанти побудови гібридної трансмісії припускають передачу моменту обертання двох різних двигунів на один вихідний вал, тому такий спосіб вимагає певного втручання у відпрацьовані й прийняті схеми трансмісій. Рішення задачі істотно спрощується, якщо розділити навантаження двох двигунів на дві різні осі, тобто класичний привод на одну вісь, а привод від ЕД – на іншу. Такого висновку можна дійти й у рамках теорії надійності, коли кінцевий результат забезпечується двома паралельними шляхами. За їхньої рівнозначності (хоча в нашому випадку це не виконується) відмова одного джерела руху не призводить до повної відмови системи, тобто транспортний засіб продовжує рух.

Структурна схема гібридного автомобіля з розділеним приводом застосована в японському автомобілі Lexus RX400h [10]. У ньому передній привод здійснюють тепловий та 1-й ЕД, в необхідних випадках підключається задній привод від другого електромотора. У нашому варіанті залишимо передній привод тільки від теплового двигуна, а задній – від електричного. Тоді схема матиме вигляд, показаний на рис. 7.

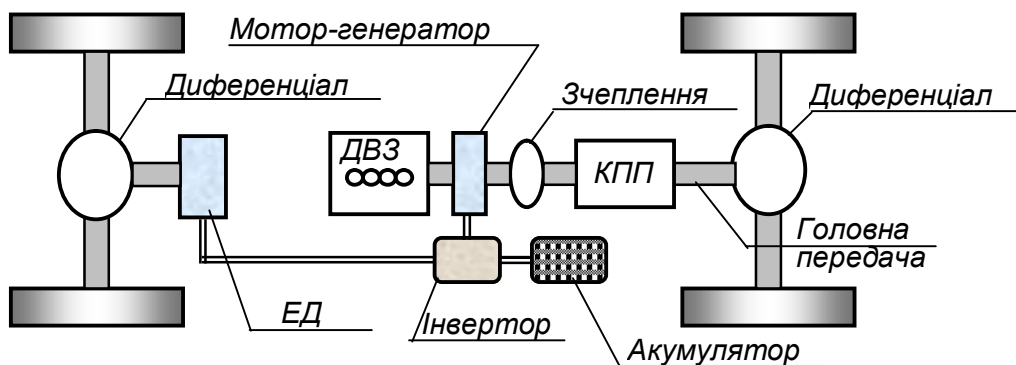


Рис. 7. Структурна схема гібридної установки з розділеним приводом

На цьому можливості електричних машин для ГЕУ не є вичерпаними: пропонується взяти спеціальну машину, яка виконуватиме функції як ЕД, так і диференціала.

Не вдаючись у докладний опис призначення й функцій механічного диференціала, відзначимо тільки його обов'язкову наявність, у першу чергу, для забезпечення руху на поворотах.

Різноманіття відомих схем, конструкцій і компоновочних рішень приводів автомобілів ґрунтується на реалізації класичного варіанта: тепловий двигун + коробка передач + міжколісний механічний диференціал. Механічні диференціали мають різну конструкцію, їх ділять на дві великі групи: ті, що не блокуються та ті, що блокуються. Останні виключають пробуксовку у випадку втрати зчеплення одного колеса з ґрунтом, але мають низку недоліків.

Застосування диференціалів, що блокуються, збільшує масу, габарити, вартість, трудомісткість регламентних і ремонтних робіт, імовірність відмов у роботі, отже, погіршує безпеку експлуатації електромобіля.

Відмінною рисою варіанта, що пропонується, є використання як рушій заднього приводу ЕД спеціальної конструкції.

Такий привод має електронну систему керування й тяговий ЕД із двома роторами, співвісно встановленими в розточці нерухомого однопакетного статора з можливістю обертання один відносно іншого на опозитних валах, зовнішні кінці яких з'єднані (якщо це буде необхідно) з редукторами. У пропонуваній структурній схемі (рис. 8) редуктори показані у вигляді пунктирних елементів поруч з тяговим ЕД.

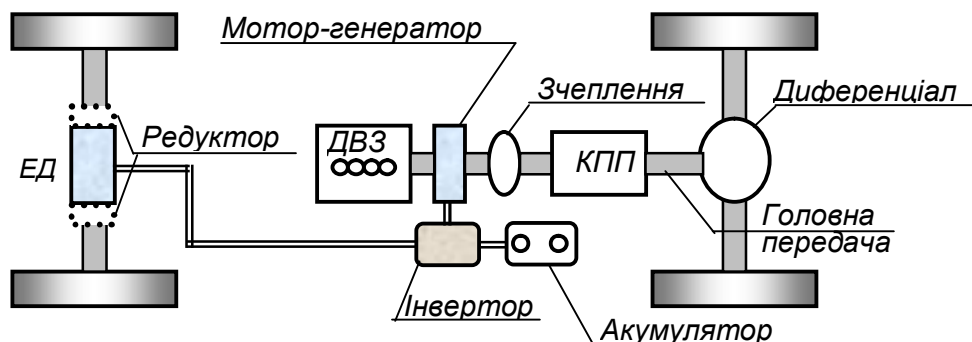


Рис. 8. Пропонувана структурна схема гібридної трансмісії

Привод з таким ЕД дозволяє повністю виключити механічний диференціал, тому що ЕД здатний виконувати паралельно і його функції. Коротко роботу приводу можна описати так.

Під час прямолінійного руху автомобіля магнітне поле статора захоплює обидва ротори з їхніми валами, які приводять у синхронне обертання колеса. У разі втрати зчеплення одного з коліс з дорогою розвивається достатньо мала тягова сила. Колесо, у якого залишилось гарне зчеплення із ґрунтом, розвиває повну тягову силу й продовжує рухати транспортний засіб.

Ніяких негативних явищ не відбуватиметься й при повороті: з розрахунків видно, що за умови повороту автомобіля з колією 1,3 м з мінімальним зовнішнім радіусом повороту 6 м ковзання в ЕД (обертання роторів щодо статора) не перевищує 20 %.

Конструкція ЕД представлена на рис. 9.

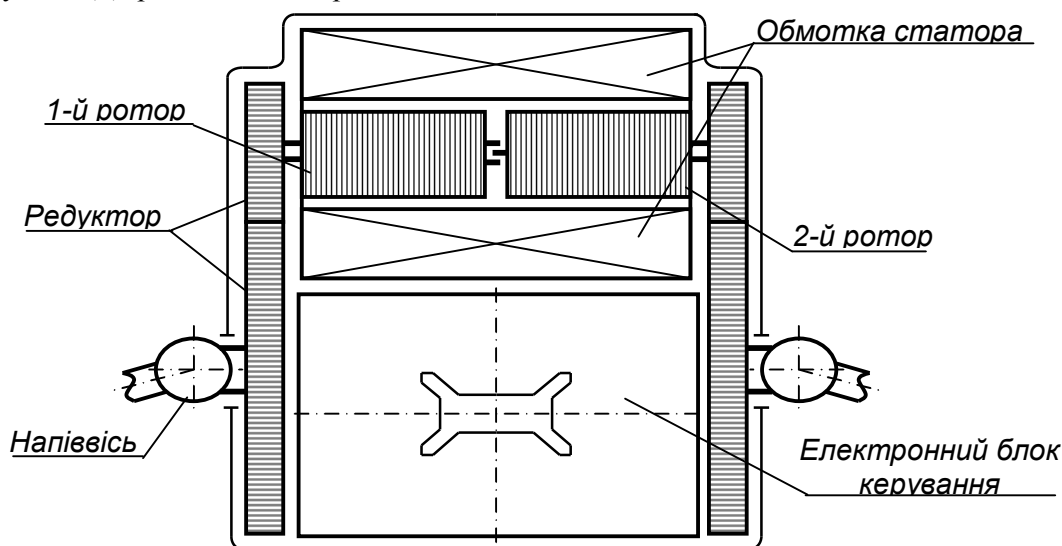


Рис. 9. Двороторний ЕД з редукторами

Таким чином, ЕД разом з основними своїми функціями виконує також функцію колісного диференціала, що блокується, і не має основних недоліків механічних диференціалів. В окремих

випадках можливе виключення міжосьових диференціалів повноприводних транспортних засобів, але це потребує додаткових досліджень.

Висновки

1. Паралельна компоновочна схема ГЕУ передбачає (рано чи пізно) об'єднання моментів теплового й електричного двигунів для приведення транспортного засобу в рух. Розглянуто варіанти реалізації паралельного привода й на цій основі для спеціального транспортного засобу запропоновано застосовувати роздільні приводні мости для кожного з двигунів.

2. У спеціальному автомобілі запропоновано використати привод із двороторним ЕД, що дозволить повністю виключити механічний диференціал, тому що сам ЕД здатний виконувати паралельно і його функції. При цьому прохідність транспортного засобу підвищується.

Список використаних джерел

1. Автосалон в Женеве 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.allcarz.ru/tag/avtosalon-geneva-2011>. – Загл. с екрана.
2. Теория и расчет тягового привода автомобилей [Текст] / И. С. Ефремов, А. П. Пролыгин, Ю. М. Андреев, А. Б. Миндлин. – М. : Высш. шк., 1984. – С. 384.
3. Вахламов, В. К. Автомобили: Конструкция и элементы расчета [Текст] : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – М. : Академия, 2006. – С. 231.
4. Кондратенко, О. П. Варіанти побудови й режими роботи транспортних засобів з гібридними силовими установками [Текст] / О. П. Кондратенко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2008. – № 1. – С. 64–69.
5. Гурьянов, Д. И. Сравнительная оценка трансмиссий гибридного автомобиля [Текст] / Д. И. Гурьянов, В. И. Строганов // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 5. – С. 21–29.
6. Vehicle Propulsion Systems - Product Specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sales@uqm.com>. – Назва з екрана.
7. Как в Ижевске создали автомобиль будущего [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://izhevsk.ru/forum_light_message/12/196946-m4780760.html. – Загл. с екрана.
8. Гибридные автомобили и их компоненты (обзор зарубежной печати) [Текст] // Мобильная техника. – 2003. – № 1–3. – С. 21.
9. BMW Vision Efficient Dynamics – баварская версия гибридного спорткара [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hybridauto.com.ua/post/bmw-vision-efficientdynamics-bavarskaya-versiya-gibridnogo-sportkara>. – Загл. с екрана.
10. Lexus RX400h [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ekipage.com.ua/klass_k2/Lexus_rx400h. – Назва з екрана.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2011 р.