

УДК 629.113.65

О. П. Кондратенко

ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ГІБРИДНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ

Розглянуто стан і шляхи вдосконалення агрегатів з комбінованими енергетичними установками, узагальнено їх класифікацію та характеристики, а також сучасні підходи до створення гібридних трансмісій. Особлива увага приділена найбільш перспективним, на думку автора, режимам роботи комбінованої установки. Наведено основні конструктивні схеми гібридних автомобілів, що застосовують на практиці.

Постановка проблеми. Створення економічних транспортних засобів з мінімальними шкідливими викидами традиційно є однією з основних проблем автомобілебудування [1]. На думку фахівців, значний потенціал зменшення викидів CO₂ є у гібридній концепції. У порівнянні зі звичайними двигунами комбінація “бензин-гібрид” може давати приблизно 25 % економії пального, а комбінація “дизель-гібрид” – близько 40 % [4]. Проблема ускладнюється тим, що можливий рівень економії залежить від багатьох факторів, зокрема від:

- варіанта комбінування вуглеводяного й електричного рушіїв;
- конструкції гібридної трансмісії;
- співвідношення потужності двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та встановленого електропривода;
- ефективності кожного із двигунів, особливо ДВЗ, і т. п.

Важливою умовою широкого застосування гібридних систем є їх вибір споживачем. Потужний гібридний привід може виявитися дуже потрібним: він ефективно діє як у суто електричному режимі, особливо на коротких відрізках руху, так і у комбінованому режимі, коли працює паралельно із ДВЗ у міських умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують кілька шляхів вирішення зазначеної проблеми [8]. Як відомо, у кожному транспортному засобі є джерело енергії і агрегати, що її перетворюють та передають. Наприклад, у автомобілі традиційної конструкції джерелом енергії є рідке або газоподібне паливо, в електромобілі – акумуляторна батарея. Наразі активно розвиваються ще три напрямки створення силових агрегатів. Перший – це конструювання водневих автомобілів із ДВЗ, другий – проектування автомобілів на паливних елементах і третій – створення машин з гібридними силовими установками, що поєднують ДВЗ та електротягу, тобто в яких використовують як мінімум два види джерел енергії [2, 7, 9]. Кожен з напрямків має свою специфіку, переваги й певні недоліки, пов’язані зі схематичними й конструктивними особливостями конкретних агрегатів та вузлів [5, 6].

Разом з тим єдиний підхід до створення комбінованих трансмісій поки що відсутній. Також не створена єдина система параметрів і визначень.

Метою статті є класифікація комбінованих енергетичних установок (КЕУ), аналіз їх характеристик, а також опис можливих варіантів застосування у військовій автобронетехніці.

З розгляду виключені питання, пов’язані з ДВЗ та наявною елементною базою електротехнічної складової трансмісії. Їх планується дослідити у наступній статті.

Виклад основного матеріалу. *Характеристики гібридної системи.* Автомобільна гібридна система сполучає два джерела рушійної сили (ДВЗ й електродвигун) з метою використання переваг й компенсування недоліків кожного з них. Така система повністю автономна і не потребує зовнішньої підзарядки.

Система автоматично зупиняє ДВЗ на холостому ході без зайвих витрат енергії. Енергія, що під час зниження частоти обертання колінчастого вала двигуна й гальмування зазвичай перетворюється на теплоту, в гібридній системі перетворюється на електрику і потім використовується для живлення стартера та електродвигуна. Крім того, останній допомагає під час набирання швидкості.

Таким чином, КЕУ максимізує коефіцієнт корисної дії транспортного засобу завдяки використанню електродвигуна для надання руху автомобілю на низькоефективних режимах роботи ДВЗ і виробляє електрику на високоефективних режимах його роботи та при гальмуванні.

Гібридні технології дозволяють вирішити п'ять найважливіших задач. По-перше, зменшити в 10 разів шкідливі викиди в атмосферу завдяки тому, що на несприятливих режимах, коли токсичність вихлопу максимальна, працює тільки електродвигун. По-друге, істотно знизити масу електричної частини силової установки. По-третє, немає необхідності заряджати акумулятор від зовнішнього джерела, тому що батареї підживлюються від бортової енергетичної установки, і можна відмовитися від спорудження дорогих і незручних зарядних станцій, які потрібні для електромобілів. По-четверте, такому автомобілю не потрібна коробка передач. Зміна сили тяги на ведучих колесах відбувається автоматично, завдяки "уродженим" властивостям електродвигуна змінного струму. По-п'яте, зростає паливна економічність.

Класифікація гібридних силових установок. Узагальнюючи відомі літературні джерела, запропонуємо три варіанти гібридних силових установок.

П о с л і д о в н а с х е м а представлена на рис. 1.

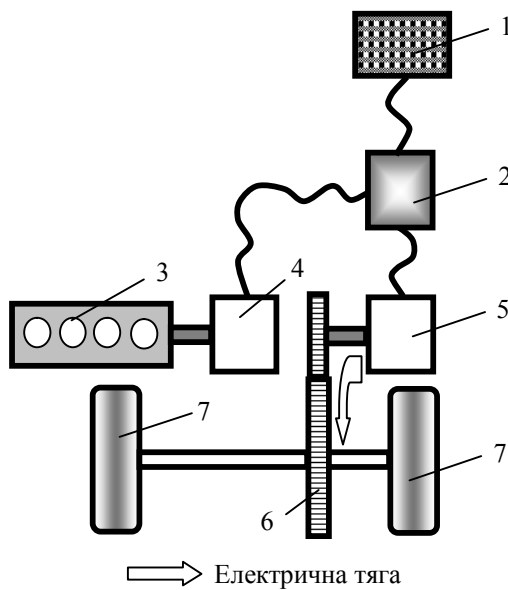


Рис. 1. Послідовна схема гібридної трансмісії:

1 – батарея; 2 – перетворювач; 3 – ДВЗ; 4 – генератор;
5 – мотор-генератор; 6 – знижувальна передача; 7 – ведучі колеса

спеціальних вузлів трансмісії. До недоліків варто віднести невеликий ККД системи перетворення енергії від ДВЗ до приводних коліс. Така схема реалізована у Toyota Coaster Hybrid і деяких автобусах.

П а р а л е л ь н а с х е м а (див. рис. 2). ДВЗ і мотор-генератор, що живиться від акумуляторної батареї, через трансмісію зв'язані з ведучими колесами. Перевагою паралельної схеми є більш високий ККД передачі енергії від первинного двигуна до ведучих коліс, у порівнянні з послідовною схемою, і можливість застосування одного мотор-генератора замість двох.

Недоліками такої схеми є ускладнена трансмісія, що забезпечує відбір (підведення) потужності електричного приводу (електродвигун і знижувальна передача), відхід ДВЗ від режиму

ДВЗ працює тільки на генератор, при цьому вибирається режим мінімальної питомої витрати пального. Енергія, що виробляє генератор, може подаватися або на мотор-генератор, або на накопичувач енергії і мотор-генератор, або тільки на накопичувач енергії.

Мотор-генератор забезпечує всі силові та швидкісні діапазони транспортного засобу і при уповільненні його руху працює в режимі генератора, забезпечуючи рекуперацію енергії гальмування. Перевагами послідовної схеми є: можливість роботи ДВЗ у постійному режимі мінімальної питомої витрати пального, простота керування силовою установкою, відсутність

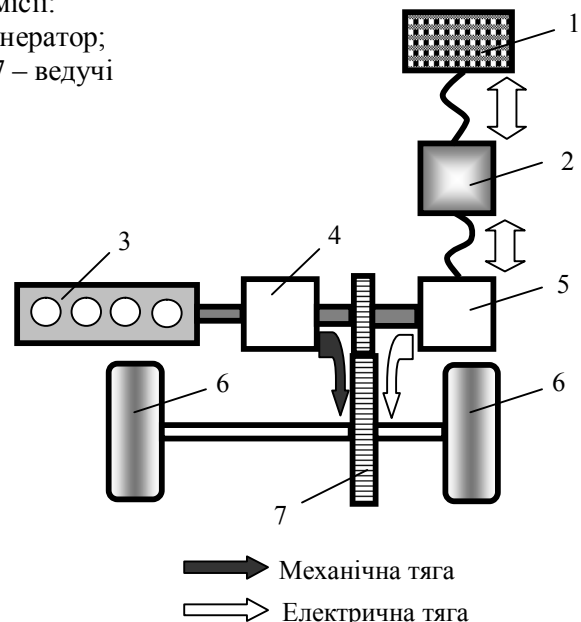


Рис. 2. Паралельна схема гібридної трансмісії:

1 – батарея; 2 – перетворювач; 3 – ДВЗ; 4 – трансмісія;
5 – мотор-генератор; 6 – ведучі колеса; 7 – знижувальна передача

мінімальної витрати пального при регулюванні швидкості руху машини й певне ускладнення системи керування трансмісією.

Можливим варіантом є паралельна схема, де мотор-генератор встановлений у приводі іншого ведучого моста, ніж ведучий міст трансмісії ДВЗ. Наприклад, у передньопривідній схемі трансмісії ДВЗ оборотний електродвигун встановлюють у приводі заднього моста. Перевагою такого варіанта можна вважати певне спрощення трансмісії ДВЗ, недоліком – використання колісного рушія як елемента системи перетворення енергії. Наведена схема реалізована у Honda Civic Hybrid.

Змішана схема (рис. 3). Вона сполучає в собі послідовну гібридну схему з паралельною для одержання максимальних переваг обох схем. Змішана гібридна трансмісія також має два двигуни – електричний та ДВЗ. Залежно від умов руху електродвигун працює окремо або разом із ДВЗ для досягнення високого ККД. Надалі, коли це необхідно, система надає руху колесам і одночасно виробляє електрику за допомогою генератора. Така система використана у моделях Toyota Prius, Estima Hybrid та Lexus RX400h.

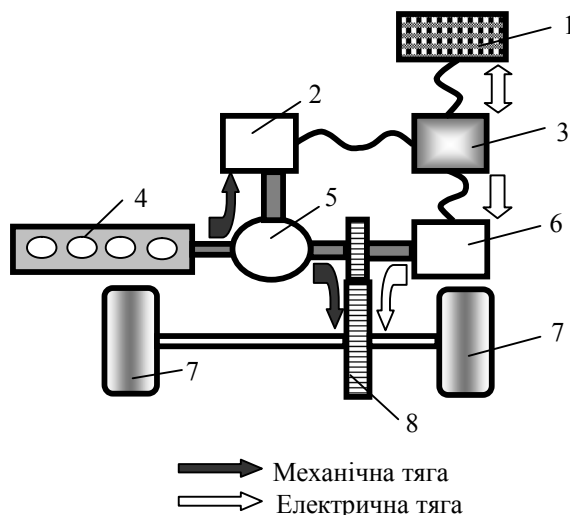


Рис. 3. Змішана гібридна трансмісія:

- 1 – батарея; 2 – генератор; 3 – перетворювач; 4 – ДВЗ;
 5 – подільник потужності; 6 – електродвигун; 7 – ведучі колеса; 8 – знижувальна передача

У змішаному гібриді планетарний подільник потужності розділяє силовий потік від ДВЗ так, що співвідношення потужностей, які надходять безпосередньо на колеса і генератор, може плавно змінюватися. Оскільки електродвигун здатен працювати на вироблюваній електроенергії, його використовують більше, ніж у паралельній схемі.

Прикладом паралельної схеми є серійний японський автомобіль PRIUS 1997 р. з гібридною силовою установкою, в якій об'єднані ДВЗ, генератор змінного струму, тяговий електродвигун і акумулятор [2]. За ДВЗ встановлено планетарний механізм. Він розділяє потік потужності на два напрямки: до редуктора головної передачі та до генератора змінного струму. Останній через перетворювач заряджає акумулятор,

від якого при необхідності також через перетворювач надходить енергія у тяговий електродвигун.

При гальмуванні електродвигун працює в режимі генератора і через перетворювач поповнює запас енергії батареї. У разі пуску ДВЗ генератор відіграє роль стартера. Дія всіх цих вузлів, що працюють із різними частотами обертання, узгоджується комп'ютером, за командами якого гальмуються необхідні шестерні планетарного механізму та включається перетворювач.

Гібридна силова установка працює у п'яти режимах, схеми яких наведені на рис. 4.

Режим 1. Початок руху, рух з малим навантаженням, невеликою швидкістю або під невеликий ухил. Працює електродвигун (А – потік потужності). ДВЗ і генератор не працюють. Акумулятор розряджається.

Режим 2. Рух з постійною швидкістю та частковим навантаженням двигуна. Планетарний механізм частину потоку потужності (В) направляє через редуктор до ведучих коліс, а іншу частину (С) – до генератора, що виробляє енергію для електродвигуна. Така своєрідна саморегулююча трансмісія передає через редуктор свою частину крутного моменту ведучим колесам. Акумулятор не працює.

Режим 3. Розгін з максимальним прискоренням. Все відбувається, як у другому режимі, крім того, вступає в дію акумулятор, що віддає додаткову енергію (А) електродвигуну, внаслідок чого крутний момент на ведучих колесах помітно зростає. Комп'ютер для досягнення максимальної ефективності постійно регулює потоки потужності.

Режим 4. Гальмування, уповільнення. Електродвигун переходить у режим генератора. Вироблювана енергія (змінний струм) через перетворювач іде на зарядку акумулятора. ДВЗ не працює.

Режим 5. Зарядка. Коли запас енергії батареї вичерпується, через електродвигун в режимі генератора (під контролем комп'ютера) починається подача струму (Д) в акумулятор. У разі зупинення автомобіля автоматично зупиняється й ДВЗ.

У гібридній трансмісії важливу роль відіграє планетарний механізм. Він регулює напрямки потоків потужності. Із сонячною шестірнею з'єднаний генератор, з водилом – ДВЗ, з коронною шестірнею – електродвигун. При необхідності кожен ланку можна зробити ведучою або нерухою (зупинити стрічковим гальмом за командою комп'ютера). Отже, відкриваються широкі можливості для найрізноманітніших кінематичних комбінацій. Така трансмісія простіше й надійніше автоматичної

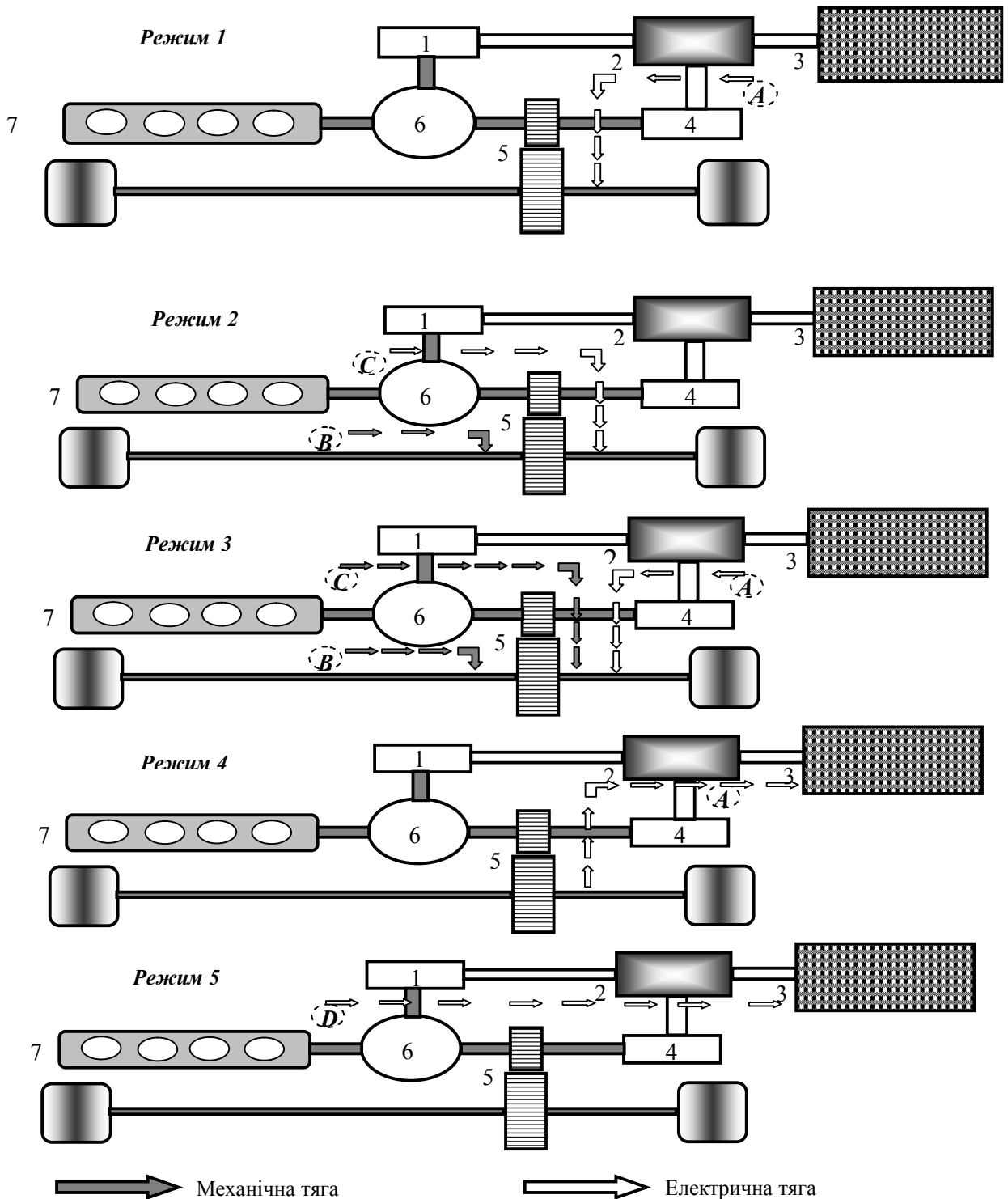


Рис. 4. Режими роботи гібридної трансмісії:

1 – генератор; 2 – перетворювач; 3 – батарея; 4 – електродвигун; 5 – редуктор; 6 – планетарний механізм; 7 – ДВЗ

коробки передач.

Замість звичного свинцево-кислотного акумулятора в силовій установці електромобіля використовують нікель-метал-гідридну батарею ємністю 260 А·год, що працює на сполуках водню з деякими металами, наприклад, нікелевими сплавами. Водень, необхідний базовому акумулятору, виділяється під впливом теплоти з гідриду нікелю [2]. Наразі відомі фірми також впроваджують у виробництво літій-іонні акумулятори.

Розглянуті конструктивні схеми гібридних автомобілів застосовують на практиці. У вантажних автомобілях малої вантажопідйомності частіше використовують паралельну схему [5]. В деяких конструкціях передбачена можливість підзарядки акумуляторних батарей від мережі в нічний час. Прикладом є середньотоннажна вантажівка MAN.

Послідовну схему частіше застосовують в автобусах і важких вантажівках [6]. Дизель, що працює в найбільш економічному режимі, обертає генератор. Електроенергія надходить на електродвигун, а її надлишок іде на заряджання акумуляторної батареї.

При розгоні автомобіля частина електроенергії надходить від акумулятора до електродвигуна. При гальмуванні останній працює в режимі генератора й виробляє електроенергію для зарядки акумулятора. Передбачено можливість зарядки акумуляторних батарей від мережі.

Існує варіант гібридного автобуса, розробленого компанією MAN, у якому електрика накопичується в батареї ультраконденсаторів. Ця міська 15-тонна машина сьогодні є самим великим транспортним засобом з конденсаторним акумулятором енергії. Вона максимально пристосована до циклічної роботи на маршруті. Спочатку асинхронний електродвигун зі змінюваною частотою обертання зрушує автобус з місця, розганяє й виводить його на номінальний режим руху. Пальне (стиснутий природний газ) витрачається для підтримання середньої швидкості на маршруті. При гальмуванні електродвигун працює в режимі генератора і заряджає блок накопичувача, що здатний акумулявати до 1,6 МДж енергії при напрузі 400 В. Під час дальшого розгону накопичена енергія передається через електродвигун на електричну трансмісію гібридного автобуса.

Такий стандартний цикл роботи бортової енергоустановки багаторазово повторюється на маршруті, забезпечуючи регенерацію енергії гальмування, а отже, і економію пального. Можливість рекуперації енергії в сполученні з використанням режиму “старт-стоп” дозволяє значно (до 35 %) скоротити витрату пального й зменшити викид токсичних речовин в атмосферу (на деяких моделях – до 90 %).

У окремих випадках гібридна схема дозволяє значно спростити трансмісію шляхом виключення чисельних карданних передач та редукторів, як, наприклад, в американській армійській вантажівці Oshkosh НЕМТТ. Вантажопідйомність машини 13 т, вона здатна долати 60-відсотковий підйом і розганятися на твердій ґрунтовій дорозі до 105 км/год. Компанія повідомляє, що гігант-гібрид витрачає в середньому на 20 % менше пального порівняно з аналогічною дизельною вантажівкою (59 – 78 л на 100 км).

Однак економія пального і грошей не є такою важливою для армійської машини, як збільшення максимального запасу ходу на одному баці. Для гібрида він становить 773 км, для дизельного аналога – 644 км. Таке підвищення “досяжності” означає можливість або неможливість доставки бійців, боеприпасів і пального, наприклад, до місця проведення спецоперації.

Силовую установкою в НЕМТТ є дизель потужністю 400 к.с., що обертає генератор 305 кВт. Електродвигун 460 В через трансмісію приводить до руху колеса. Акумулятори в машині незвичайні – це суперконденсатори із загальною енергією 1,5 МДж [3].

Є ще одна важлива перевага гібридної вантажівки. Заміна дизеля в польових умовах на серійній машині займає декілька годин, а на гібридній – 20 хв завдяки тому, що відсутній механічний зв'язок дизеля й коліс. В умовах виконання службово-бойових завдань така економія часу може означати порятунок чийось життів.

У надзвичайних ситуаціях або за умов стихійного лиха такий автомобіль може надавати зовнішнім споживачам 200 кВт змінного струму, наприклад, невеликому міському кварталу, шпиталю, польовій базі або командному пункту. Раніше для цього на тій самій вантажівці доводилося транспортувати важкий дизель-генератор, а інколи й не один.

Наведені переваги, що виходять за межі лише економії пального, і є головною причиною “гібридизації” військової техніки.

Висновки. Застосування розглянутих варіантів гібридних силових установок транспортних засобів збільшуватиме ефективність використання автомобільної техніки, покращуватиме її екологічність

характеристики. Основними перевагами гібридної трансмісії є значне скорочення витрат пального та зменшення шкідливих викидів при роботі в міських умовах. У транспортних засобів спеціального призначення механізм трансмісії набагато простіший. Серед недоліків слід відзначити ускладнення загальної конструкції автомобіля, більш високу ціну і необхідність додаткового навчання персоналу.

Список використаних джерел

1. Антонов В. Стиль и совершенство [Электронный ресурс] / В. Антонов // Склад и Техника. – 2006. – № 11. – С. 7 – 9. – Режим доступа: http://www.autopogruz.ru/click.php?http://www.sitmag.ru/article/technology/2006_11.
2. Борух М. Два в одном / М. Борух // Автовосток. – 2008. – № 12. – С. 12 – 14.
3. В США разработали военный гибрид [Электронный ресурс] / Информационно-новостной портал г. Даугавпилса. – Режим доступа: [gani.ru. Gorod_iv](http://gani.ru/Gorod_iv).
4. Гибридные автомобили и их компоненты (обзор зарубежной печати) // Мобильная техника. – 2003. – № 1 – 3. – С. 24 – 28.
5. Гібридні приводи від Bosch. [Електронний ресурс]: за матеріалами PR агенції Imageland Ukraine. – Режим доступа: <http://www.imageland.com.ua/>
6. Гурьянов Д. И. Проблемы гибридного автобусостроения / Д. И. Гур'янов, В. И. Строганов // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 8. – С. 8 – 11.
7. Златин П. А. Электромобили и гибридные автомобили / П. А. Златин, В. А. Кеменов, И. П. Ксенович. – М.: Агроконсалт, 2004. – 286 с.
8. Комбинированные силовые установки // За рулем. – 2003. – № 6. – С. 33 – 36.
9. Эблесон Д.В. Разрабатываемые технологии электромобилей / Д. В. Эблесон // Приводная техника. – 1999. – № 9/10. – С. 17 – 21.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2008 р.