

УДК 629.113.65



О. П. Кондратенко

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОЇ АВТОТЕХНІКИ ДЛЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Обговорено варіанти побудови різних зразків військових гусеничних і колісних машин, оснащених електричною трансмісією та гібридною енергетичною установкою. Подано результати аналізу стану та перспектив розвитку гібридної автотехніки у провідних країнах світу. Визначено можливості рекуперації енергії залежно від маси й режиму руху транспортного засобу.

Ключові слова: гібридна силова установка, рекуперація енергії, суперконденсатор, електрична трансмісія.

Постановка проблеми. На цей час спостерігається істотне зростання інтересу до розроблення і випробування різних зразків військових гусеничних і колісних машин, оснащених електричною трансмісією та гібридною енергетичною установкою. Таке оснащення дозволяє жити додаткові споживачі електричної енергії великої потужності: пристрої електричного пуску ракет, електротермохімічні або електромагнітні гармати і так звану “електромагнітну броню”.

Розвиток бронетанкового озброєння і техніки на сучасному етапі йде у напрямку вирішення таких завдань [1]:

- підвищення вогневої моці за рахунок застосування нових видів озброєння;
- підвищення рівня захищеності;
- підвищення рівня рухливості шляхом збільшення середніх швидкостей руху і запасу ходу по паливу;
- підвищення надійності;
- забезпечення можливості роботизації й автоматизації керування перспективних броньованих машин;
- розширення можливостей діагностування та контролю систем.

Електрична трансмісія дає змогу оптимізувати режими обертання кожного з коліс, безступінчасто регулювати швидкість руху і силу тяги в широкому діапазоні, полегшити створення антиблокувальних та антипротибуксувальних систем. Це дозволяє знизити вимоги до кваліфікації й психофізичного стану водіїв у разі підвищення

основних показників рухливості. Програмне забезпечення керування машини з електротрансмісією дає змогу забезпечити роботу гібридної установки в оптимальному режимі, тобто з мінімальною витратою палива, в оптимальному температурному режимі, з максимальним ККД. Через електричну трансмісію найбільш просто реалізувати створення повністю автоматизованих машин (без екіпажа), керованих на відстані по радіоканалу або автоматично. Електричні машини мають високі показники надійності, технологічності виробництва, експлуатації, ремонту й можливості контролю у порівнянні з іншими типами трансмісій.

Для перспективних колісних машин розглядається електротрансмісія із застосуванням мотор-колеса – тяговий електромотор, розташований безпосередньо в колесі машини. Агрегати електротрансмісії з мотор-колесом кінематично між собою не зв’язані, що розширює компоновальні можливості під час проектування машини. Електротрансмісія з мотор-колесом дозволяє, усунувши карданну передачу в приводі колеса, суттєво підвищити ступінь свободи поворотного пристрою та шарнірів підвіски [1]. Варіант компоновання машини з електротрансмісією подано на рис. 1.

Необхідність застосування електротрансмісій у конструкції перспективних колісних машин підтверджується припущеннями, що ґрунтуються на аналізі закордонних розробок, зокрема таких, як:

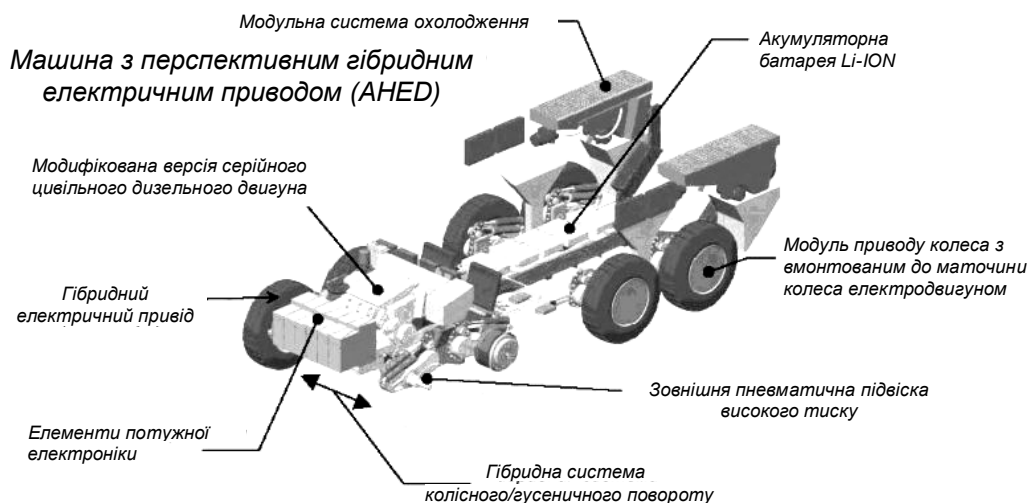


Рис. 1. Конфігурація колісної машини з колісною формулою 8×8 з перспективним гібридним електричним приводом (AHED)

– виключення з конструкції бойової колісної машини механічних систем передачі моменту, що дозволяє знизити масу машини або збільшити її вантажопідйомність;

– корисний об'єм, що вивільнився, дозволяє помістити додаткове спеціальне устаткування;

– об'єм, що вивільнився від агрегатів механічної трансмісії на днищі, дає змогу щонайкраще розташувати накопичувачі енергії.

Мета статті – провести оцінювання шляхів та основних характеристик створення військової гібридної техніки закордонних виробників для визначення можливості її застосування у вітчизняному виробництві.

Виклад основного матеріалу. На цей час за рубежом виконуються програми з розроблення і впровадження електричних трансмісій з гібридною енергетичною установкою у військові гусеничні та колісні машини. У США, Німеччині, Франції, Великій Британії та Швеції проведені такі дослідження з демонстрацією зразків. Так, відомі системи FCS-T і FCS-W (Швеція) з гібридним електричним приводом (Т – гусенична, W – колісна).

Платформи використовують гібридну систему із трьома режимами: гібридний, тільки від акумуляторів і тільки від двигуна. Під час роботи від акумуляторів (маскувальний, безшумний режим) машина може проїхати близько чотирьох кілометрів, енергія від блоку літєвих акумуляторів (167 кВт) при напрузі 600 В. Також цей режим застосовується, щоб забезпечити тривале (до

6 год при 2,5 кВт) безшумне спостереження, коли екіпаж використовує лише електронні прилади виявлення.

Як приклад назвемо також гібридну силову установку, яка перебуває на озброєнні армії США – “Oshkosh L-ATV” (рис. 2). 6,5-тонний автомобіль може проїхати до 480 км від одного заправлення, він на 70 % швидше аналогічних за можливостями конкурентів. Перша партія у 17 тисяч автомобілів надійде в армію США вже у 2018 р., повне відновлення парку заплановано до 2040 р.



Рис. 2. Oshkosh L-ATV

Інший приклад – Shadow RST-V, він є гібридним електричним транспортним засобом з колісною формулою 4x4, що призначений для розвідки, спостереження, цілевказання, і можливостями керування, зв'язку та розвідки. При цьому поєднуються малопомітність і живучість. Автомобіль може бути обладнаний відповідно до виконуваного завдання, у тому числі: передового спостерігача, передового повітряного контролю, розвідки, носія легкого озброєння, бойового медичного автомобіля,

ППО, автомобіля логістики, перевізника персоналу, носія ПТКР і перевізника міномета. У варіанті командного автомобіля дах Shadow збільшується.

Shadow RST-V оснащений гібридним електричним приводом, дизельним двигуном із прямим упорскуванням і турбонаддувом. 2,5-літровий дизель має потужність 114 кВт. Дизель живить генератор з постійними магнітами потужністю у 110 кВт, який живить чотири 50-кіловатні двигуни (теж з постійними магнітами), установлені на кожному колесі. Електрична система включає також літійіонну батарею з номінальною потужністю 20 кВт і піковою потужністю 80 кВт [2]. Загальна потужність приводу становить 210 кВт (110-кіловатний дизель-генератор і 100-кіловатні акумулятори), що дозволяє 3,8-тонну машину розганяти до 120 км/год і долати підйоми до 60 %.

В американській програмі FCS – “бойовій системі майбутнього” – дизель-електричний комбінований привід став основною формою приводу, перетворившись у найважливішу конфігурацію всього сімейства машин.

Наразі основна проблема, що перешкоджає запровадженню електричних трансмісій, пов’язана з відсутністю малогабаритних тягових електродвигунів. Тому за рубежом розпочато роботи зі створення малогабаритних електродвигунів, які й мають малу масу, *на постійних магнітах* (самарій, кобальт та ін.), що дозволить впровадити електричні трансмісії у військові гусеничні та колісні машини. Подібні дослідження останнім часом проводилися у США та Німеччині [3]. Проте використання постійних магнітів в основних компонентах електричної трансмісії має й низку недоліків, які у цій статті не обговорюються.

Як відомо, на гібридному автомобілі крім

двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) використовується й електричний двигун. Способи їх взаємодії між собою й ведучими колесами різняться залежно від типу гібридної силової установки (ГСУ). Поширена на цей час є послідовна схема, у якій тепловий двигун пускає в хід генератор, а той уже підзаряджає акумулятори і живить тяговий електромотор (рис. 3).

Не менш відома й паралельна схема ГСУ, де обидва двигуни використовуються для приводу коліс, причому електричний може застосовуватися, у тому числі, тільки для забезпечення вимоги додаткової потужності. Цей варіант найбільш технологічний і найдешевший у виробництві.

Переваги обох схем використовуються у змішаній (split – “поділений навпіл”) схемі, але вона й найдорожча, що, загалом кажучи, є перешкодою для масового виробництва. Вона забезпечує рух тільки на електротязі при виключеному ДВЗ, що є переважним для військового застосування. Електромотор тут ще більшої потужності – від 60 кВт до 100 кВт, а на вантажних автомобілях та автобусах – до 250 кВт. Електромотор використовується і як генератор для поповнення заряду акумуляторної батареї. Є режим рекуперації. Для повноцінної роботи подібного гібрида потрібна батарея великої ємності – від 400 А·год до 600 А·год або більше [3].

Головна перевага всіх “гібридів” полягає у зниженні витрати пального. Зміна обертів ДВЗ позначається на витраті палива, а механічна коробка передач за рахунок втрат на тертя і т. д. також деякою мірою збільшує необхідну кількість пального. При використанні генератора й електромотора бензиновий (дизельний) двигун може працювати на оптимальних обертах незалежно від умов їзди. Як результат – витрата палива й шкідливі викиди знижуються.

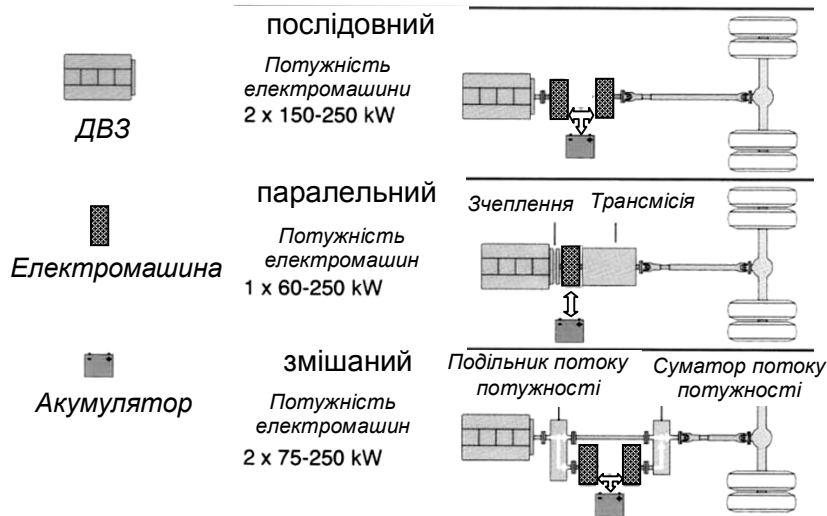


Рис. 3. Варіанти побудови гібридної силової установки

Російські інженери на базі БТР-90 “Росток” розробили прототип бойової машини з гібридною силовою установкою й електротрансмісією. Він має назву “Крымск” і може розганятися до 80 км/год за 33 с. На її борті є великий запас енергії (до 300 кВт), який за необхідності вивільняється миттєво. Сьогодні від цього користі немає, але вона може бути застосована для лазерної або електромагнітної зброї [4].

Компанія наразі займається низкою проектів перспективної бронетехніки, серед яких є уніфікована платформа “Бумеранг”. Проводиться робота над зразком бронетехніки, оснащеним гібридною силовою установкою і трансмісією, що побудовані за схемою “послідовний гібрид”. Електрична трансмісія виконана за схемою “мотор-піввісь”. БТР одержав новий дизельний двигун, потужність якого обмежено 270 кВт. Є можливість використання основного генератора як електромотора. Накопичувач енергії побудований на основі суперконденсаторів, ємність системи 300 кВт/год.

Рух забезпечують вісім тягових електродвигунів. Передбачені вбудовані редуктори планетарного типу. За необхідності розгону або підйому на схил тягові двигуни одержують енергію як від генератора, так і від накопичувача. Під час гальмування кінетична енергія машини частково перетворюється в електричну і спрямовується у накопичувач. Підкреслюється можливість руху машини у разі вимкненого дизеля. У ході поліпшення накопичувача вдалося в разі збільшити дальність ходу без використання основного двигуна [5].

У разі необхідності можна повернути при різноспрямованому обертанні коліс різних бортів. Унаслідок цього радіус розвороту зменшиться до 3,8 м – фактично БТР повертається на місці.

Вітчизняні вчені київського Інституту електродинаміки НАН України вже давно пропонують українській армії створити подібну техніку [6, 7]. Зниження шуму – не єдина перевага електричної тяги. Краще маскуватися допомагає й те, що тепловіддача двигуна зводиться до мінімуму. Це означає, що вночі таку машину складніше побачити за допомогою тепловізора.

Розробники посилаються на CERV – військовий дизель-електричний автомобіль, головна мета якого – висока швидкість пересування (рис. 4а). Максимальна швидкість – 120 км/год. Його можна використовувати для швидкого переміщення мобільних груп та евакуації заручників або для перевезення поранених з поля бою, тобто у тих ситуаціях, де швидкість і дальність їзди важливіші за броню. Пропонується також концепт Bravo (рис. 4б), який взагалі націлений на мінімальну витрату палива. Автомобіль крім дизельного восьмициліндрового двигуна має гібридний привід для задньої осі й електричний мотор – для передньої. На електричній тязі можна проїхати до 8 км, до того ж під час руху батареї постійно заряджаються завдяки системі рекуперації енергії [6].

Отже, наразі всі армії у світі перебувають у пошуку найбільш ефективних рішень щодо підвищення мобільності й прихованості своїх спеціальних сил. Найбільш перспективним рішенням у цьому напрямку є використання як джерела електричної енергії.

Інтерес до електричного приводу поступово зростає завдяки деяким його очевидним перевагам: він значно надійніший в експлуатації й простіший в обслуговуванні та забезпеченні, дає змогу забезпечити низький центр мас і, відповідно, більшу стійкість, має тихий хід, мінімальну помітність в інфрачервоному спектрі.



а



б

Рис. 4. Гібридні автомобілі CERV і Bravo

Важливим складним елементом гібридної технології є наявність системи рекуперації енергії руху й гальмування. Раніше ці питання вже розглядалися, у тому числі й у працях автора [8, 9, 10]. Регенеративна функція гальмування накопичує енергію, знижуючи зношення механічної системи. На думку виробників, цей механізм підвищує повну економію від 20 % до 30 % у порівнянні зі звичайними механічними приводами.

Оцінимо енергію, яку видає автомобіль під час гальмування, залежно від його маси й швидкості [12]. Кінетична енергія – це половина добутку маси на квадрат швидкості: $E = m \cdot v^2 / 2$. Використовуючи для розрахунків ЕКСЕЛ, одержимо графіки, зображені на рис. 5 і 6. Помножимо цю енергію на кількість гальмувань, які відбуваються щодня, й одержимо досить відчутний приплив енергії. Фахівці зрозуміли, що на цьому можна помітно заощаджувати паливо і знизити токсичні викиди.

Тепер оцінимо, скільки потужності в потенціалі можна одержати від зупинки автомобіля масою, наприклад, у 1000 кг із початковою швидкістю 60 км/год (умови міста). Зауважимо, що далі наведено верхні оцінки, тобто без урахування ККД вузлів і т. п. Із розрахунків випливає, що енергія складе 139 кДж, або 139 кВт/с. Виразивши потужність через відношення енергії до часу, одержимо 13,9 кВт або близько 19 к. с. за 10 с; за 5 с – буде у два рази більше. Чим швидше (але не комфортно) ми прагнемо зупинити автомобіль, тим більшу потужність можна одержати від рекуперації, таку б усереднену потужність за час гальмування видав би генератор. З іншого боку, накопичувач у вигляді акумуляторної батареї має досить обмежені можливості приймання цієї енергії,

тобто заряджання за обмежений час. І тут беззастережно виходимо на застосування суперконденсаторів [10, 11], у яких технічних обмежень на час заряджання і розряджання немає.

Таким чином, застосування системи рекуперативного гальмування забезпечує максимальну віддачу від кожного заряджання накопичувача і підвищує паливну економічність. Рекуперативне гальмування найбільш ефективне на передній осі автомобіля, тому що до 70 % кінетичної енергії під час гальмування припадає саме на передню вісь.

Ефективність системи рекуперативного гальмування значно знижується на низьких швидкостях руху автомобіля. Тому для доведення автомобіля до повної зупинки використовуються традиційні фрикційні гальма. Спільна робота двох систем перебуває під управлінням електроніки. Електронний блок керування реалізує такі функції:

- контроль швидкості обертання коліс;
- підтримання гальмівного моменту електродвигуна, необхідного для затримки автомобіля;
- перерозподіл гальмівного зусилля на фрикційну гальмівну систему;
- підтримання крутного моменту, необхідного для заряджання акумуляторної батареї.

Сьогодні розробники автомобілів пропонують виробляти додаткову енергію за допомогою генераторів, вбудованих в амортизатори, що поглинають енергію коливань автомобіля [13]. Теоретично подібна технологія спроможна збільшити запас ходу від 6 % до 10 %. Ця розробка названа Genshock (див. рис. 7) і у вигляді прототипів проходить тестове випробування на військових автомобілях.

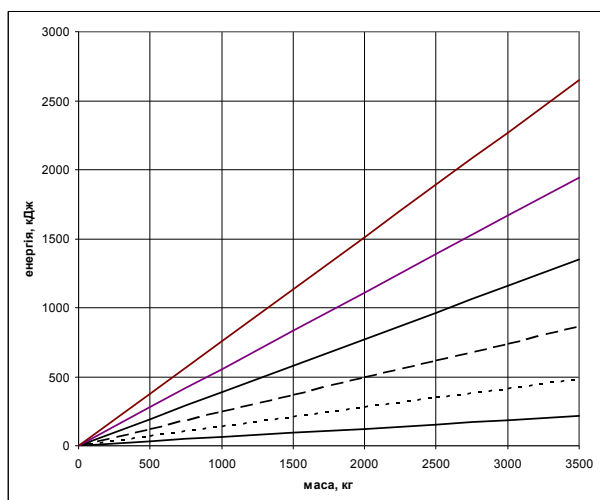


Рис. 5. Внесок маси в кінетичну енергію (лінії зверху вниз відповідають швидкостям від 140 км/год до 40 км/год через 20 км/год)

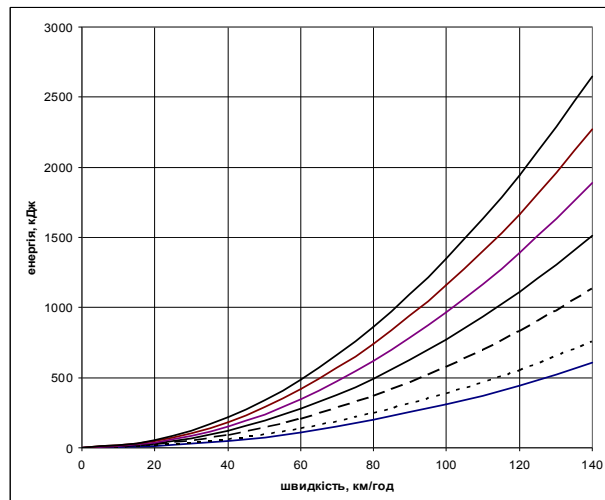


Рис. 6. Внесок швидкості в кінетичну енергію (лінії зверху вниз відповідають масам від 3500 кг до 800 кг через 500 кг)

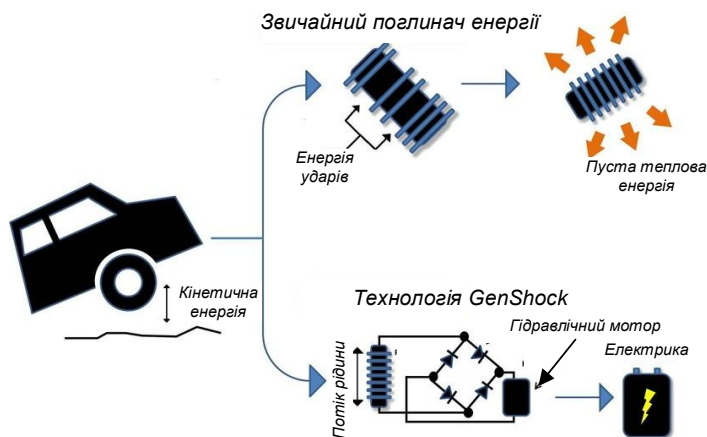


Рис. 7. Принцип технології GenShock

Висновки

1. Роботи з удосконалювання трансмісій бойових колісних і гусеничних машин проводять шляхом створення і запровадження електричної трансмісії з гібридною енергетичною установкою. Це дозволяє значно підвищити динамічність, економічність машини по паливу, надійність окремих агрегатів і створює умови для реалізації нових технічних рішень по системах керування рухом, комплексах озброєння та захисту.

2. Склад основних вузлів і елементів приводу: двигун внутрішнього згоряння, електрична машина (що працює і як генератор, і як електромотор), або дві окремі – генератор і тяговий електромотор, частотний перетворювач, накопичувачі електроенергії та блок керування.

3. За типом застосовуваних електричних машин розробки спрямовані на створення малогабаритних електродвигунів на постійних магнітах.

Список використаних джерел

1. Воронович, А. Тенденции развития электрических трансмиссий бронированных машин [Электронный ресурс] / А. Воронович. – Режим доступа : <http://www.oboznik.ru/?p=41334> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

2. Shadow – автомобиль разведки, наблюдения, целеуказания (RST-V) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://topwar.ru/26036-shadow-avtomobil-razvedki-nablyudeniya-celeukazaniya-rst-v-soedinennye-shtaty-ameriki.html> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

3. Иванов, А. Электрические трансмиссии для современных боевых машин [Электронный ресурс] / А. Иванов, А. Дедов. – Режим доступа : <https://topwar.ru/31359-elektricheskie-transmissii-dlya-sovremennyh-boevyh-mashin.html> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

4. Рябов, К. Экспериментальная машина “Крымск” [Электронный ресурс] / К. Рябов. – Режим доступа : <https://topwar.ru/46656-eksperimentalnaya-mashina-krymsk.html> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

5. Рябов, К. Новости проекта бронетранспортера с гибридной силовой установкой “Крымск” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://topwar.ru/98078-novosti-proekta-bronetransportera-s-gibridnoy-silovoy-ustanovkoj-krymsk.html> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

6. Ученые предлагают армии Украины пересест на электротранспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://euroua.com/world/technology/5244-uchenye-predlagayut-armii-ukrainy-peresest-na-elektrotransport> (дата обращения : 03.03.2017). – Загл. с экрана.

7. Украинские дизайнеры разработали проект военного автомобиля-трансформера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://military-informant.com/pressreleases/ukrainskie-dizayneryi-razrabotali-proekt-voennogo-avtomobilya-transformera.html> (дата обращения : 14.04.2017). – Загл. с экрана.

8. Кондратенко, О. П. Варіанти побудови й режими роботи транспортних засобів з гібридними силовими установками / О. П. Кондратенко // Збірник наукових праць

Академії внутрішніх військ МВС України / редкол. : О. О. Морозов та ін. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2008. – Вип. 1 (11). – С. 64–69.

9. Кондратенко, О. П. Можливості реалізації гібридної енергетичної установки із застосуванням електричної машини спеціального типу [Текст] / О. П. Кондратенко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України / редкол. : О. О. Морозов та ін. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 5–10.

10. Варакин, И. Н. Электрохимические конденсаторы для гибридного электрического транспорта [Электронный ресурс] / И. Н. Варакин, А. Д. Клементов, Н. Ф. Стародубцев. – Режим доступа : http://www.esma-cap.com/FAQ/condensatory_dlya_electrotransporta.pdf (дата обращения : 14.04.2017). – Загл. с экрана.

11. Гурьянов, Д. И. Сравнительная оценка трансмиссий гибридного автомобиля [Текст] / Д. И. Гурьянов, В. И. Строганов // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 5. – С. 21–29.

12. Вахламов, В. К. Автомобили: конструкция и элементы расчета [Текст] : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – Москва : Академия, 2006. – С. 231.

13. Автомобильные амортизаторы в роли генератора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avto-sovetu.ru/novosti/240-avtomobilnye-amortizatory-v-rolu-generatora.html> (дата обращения : 6 14.04.2017). – Загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2017 р.

УДК 629.113.65

А. П. Кондратенко

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ГИБРИДНОЙ АВТОТЕХНИКИ ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ УКРАИНЫ

Обсуждены варианты построения различных образцов военных гусеничных и колесных машин, оснащенных электрической трансмиссией и гибридной энергетической установкой. Представлены результаты анализа состояния и перспектив развития гибридной автотехники в ведущих странах мира. Определены возможности рекуперации энергии в зависимости от массы и режима движения транспортного средства.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, рекуперация энергии, суперконденсатор, электрическая трансмиссия.

UDC 629.113.65

О. P. Kondratenko

GENERAL APPROACHES TO THE CREATION OF HYBRID TECHNOLOGY FOR NATIONAL GUARDS

The options for constructing various models of military caterpillar and wheeled vehicles equipped with an electric transmission and a hybrid power plant are discussed. The results of the analysis of the state and prospects of development of hybrid vehicles in the leading countries of the world are presented. The possibilities of energy recovery depending on the mass and mode of vehicle movement are determined.

Keywords: a hybrid power plant, energy recovery, supercapacitor, electric transmission.

Кондратенко Олександр Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільної техніки Національної академії Національної гвардії України