

УДК: 629.3.014

О. Ю. ПОДОЛЯН, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних засобів та спеціальної техніки Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (м. Хмельницький)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ГІБРИДНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ОПЕРАТИВНО- СЛУЖБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

Стаття висвітлює виявлення резервів підвищення ефективності функціонування транспортних засобів прикордонних підрозділів, обґрунтування актуальності дослідження питань застосування гібридних транспортних засобів у Державній прикордонній службі України, установлення синергетичного характеру функціонування транспортних засобів з гібридними силовими установками. На основі виявлених фактів розроблено структуру підходу до оцінки ефективності використання гібридних транспортних засобів в оперативно-службовій діяльності підрозділів охорони кордону, сформовано часткові завдання дослідження.

Ключові слова: *гібридна силова установка, умови функціонування, прикордонний підрозділ, ефективність, оцінка.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Постійне підвищення вимог до економічних та екологічних властивостей транспортних засобів з боку суспільства обумовлює активний пошук автовиробниками шляхів

покращення конструкції автомобілів. На даний час в автобудівній галузі спостерігається тенденція до розширення виробництва транспортних засобів з гібридними силовими установками, при цьому більшість провідних спеціалістів [1–7] визнають перспективність такого напрямку удосконалення конструкції наземного транспорту в сучасних умовах.

Раніше [8; 9] було обґрунтовано, що відбір зразків транспортних засобів для комплектування парків підрозділів охорони кордону повинен здійснюватись на основі переліку технічних вимог, до якого, зокрема, входять і вимоги щодо відповідності автомобіля сучасним екологічним стандартам і високим значенням паливної економічності [10]. З метою забезпечення вищевказаних вимог виникає потреба у придбанні автомобілів, вартість яких порівняна з вартістю подібних зразків з гібридними силовими установками [11]. З урахуванням того, що сучасні технології виробництва гібридних автомобілів забезпечують їх масовий випуск, виникає питання про визначення доцільності закупівлі такого роду машин для підрозділів Державної прикордонної служби України. Отже, технічна й економічна оцінка перспектив використання транспортних засобів з гібридними силовими установками під час виконання завдань оперативно-службової діяльності підрозділів кордону є актуальним завданням.

Державною цільовою правоохоронною програмою “Облаштування та реконструкція державного кордону” на період до 2015 року [12] передбачено виділення коштів з Державного бюджету країни на закупівлю та поповнення парків новими транспортними засобами. Установлення переліку технічних вимог до транспортних засобів відділів прикордонної служби, обґрунтування критеріїв придатності окремих зразків автотранспорту для застосування у даних підрозділах надає можливість своєчасно формувати пропозиції керівництву служби для прийняття рішення щодо найбільш раціонального використання коштів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. У роботах [13 – 15] розглянуто специфічні підходи до вирішення питання вибору транспорту для прикордонних підрозділів. Разом з тим дослідження щодо вибору зразків транспортних засобів з альтернативними силовими установками для комплектування парків відділів прикордонної служби не проводились.

Метою статті є розробка підходу до здійснення оцінки корисного ефекту від використання транспортних засобів з гібридними силовими установками в умовах прикордонних підрозділів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відомо [16], що витрати на забезпечення автомобіля паливом у середньому складають до 70 % загальних витрат за його життєвий цикл. Ураховуючи сучасну поширеність автотранспорту в світі, можна стверджувати, що автомобільний транспорт є найбільшим споживачем моторних паливних нафтового походження та одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами відпрацьованих газів і сажі. У теперішній час досить гостро постали проблеми глобального вичерпання запасів нафти і загрози екологічної катастрофи на планеті, а тому підвищення економічності й екологічності автотранспорту на сьогодні є одним з пріоритетних державних завдань [17; 18].

Виконання вимог щодо підвищення показників паливної економічності й екологічності автомобільних транспортних засобів можна досягнути декількома відомими на сьогодні способами:

за рахунок удосконалення конструкції двигунів внутрішнього згоряння (оптимізації робочого процесу; застосування інтелектуальних систем керування силовими установками автомобілів, утилізації теплоти та нейтралізації токсичних компонентів відпрацьованих газів);

застосуванням альтернативних джерел енергії для двигунів внутрішнього згоряння (газогенератори, паливні елементи) та використанням екологічних палив (стиснутий або зріджений газ, етанол, водень, біодизель);

використанням альтернативних силових установок (СУ) для автомобільних транспортних засобів (електродвигуни, гідравлічні двигуни, інерційні двигуни тощо), які не забруднюють навколишнє середовище.

Перевагою останнього способу є те, що зазначені СУ, на відміну від двигунів внутрішнього згоряння, володіють властивістю рекуперації енергії.

Розглянемо зазначену особливість детальніше. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – це пристрій, який перетворює внутрішню (хімічну) енергію пального на корисну механічну роботу, і такий процес є незворотним (енергоносієм є вуглеводневе пальне у баку автомобіля). В альтернативних СУ процеси перетворення енергії є зворотними, наприклад, у ході гальмування кінетична енергія автомобіля може бути перетворена на електричну і накопичена в акумуляторній батареї. Оцінити рівень підвищення ефективності колісного транспортного засобу при застосуванні

альтернативних СУ замість ДВЗ можна на прикладі простої моделі функціонування автомобіля (рис. 1).

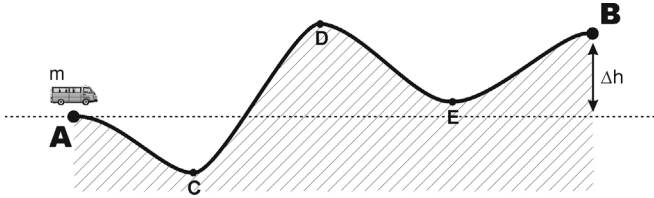


Рис. 1. Схема функціонування автомобіля

Нехай з пункту А в пункт В необхідно перемістити вантаж масою m , при цьому різниця висот розташування пункту В і пункту А над рівнем моря складає Δh . Відомо [19], що теоретично (без урахування маси автомобіля і додаткових витрат енергії) для цього необхідно виконати роботу

$$A = \Delta E_p = mg\Delta h,$$

де ΔE_p – зміна потенційної енергії тіла масою m ; g – прискорення вільного падіння ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

У такому випадку витрати енергії, запасеної в енергоносії, будуть еквівалентні виконаній роботі. Зважаючи на те, що на шляху руху автомобіля є спуски та підйоми, модель перетворень енергії в автомобілі з ДВЗ та в автомобілі з альтернативною СУ відрізнятимуться (див. таблицю).

Перетворення енергії в процесі руху автомобіля за досліджуваним маршрутом

	Ділянка А—С (спуск)	Ділянка С—D (підйом)	Ділянка D—E (спуск)	Ділянка E—B (підйом)
Автомобіль з ДВЗ	$E_p \rightarrow E_k \rightarrow Q$	$U \rightarrow A \rightarrow E_p$	$E_p \rightarrow E_k \rightarrow Q$	$U \rightarrow A \rightarrow E_p$
альтернативною СУ	$E_p \rightarrow A \rightarrow U$	$U \rightarrow A \rightarrow E_p$	$E_p \rightarrow A \rightarrow U$	$U \rightarrow A \rightarrow E_p$

Як видно з таблиці, рухаючись на підйом, обидва автомобілі витрачають запасену в енергоносії енергію (U) на виконання роботи (A) щодо забезпечення руху автомобіля, у результаті чого автомобіль збільшує запас своєї потенційної енергії (E_p) на величину $mg\Delta h_n$, де Δh_n – висота підйому.

Рух автомобілів на спуску характеризується обмеженням щодо максимальної швидкості (наприклад, 90 км/год [20]). Зважаючи на те, що кінетична енергія автомобіля пропорційна його швидкості

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

де v – швидкість автомобіля), то не весь потенціал, який має автомобіль на вершині підйому, може бути перетворено на кінетичну енергію.

Частина цього потенціалу трансформується в інші види енергії:

у класичному автомобілі – у тепло (Q) за рахунок розігріву гальмівних механізмів, якими обмежується швидкість руху автомобіля на спуску; автомобілях з альтернативними СУ – у внутрішню енергію (U) енергоносія за рахунок процесу рекуперації (A).

Отже, за всіх інших рівних умов енерговитрати на забезпечення переміщення вантажу m за допомогою транспортного засобу з ДВЗ будуть більшими, ніж енерговитрати транспортного засобу з альтернативною СУ на суму всіх теплових втрат (Q). Логічно припустити, що чим більш схиляста місцевість, в умовах якої функціонує автомобіль (чим більше рухається автомобіль у режимі гальмування), тим більшою є різниця питомих енерговитрат на переміщення вантажу за допомогою класичного автомобіля та автомобіля з альтернативною СУ.

На прикладі вищевикладеної моделі було встановлено, що ступінь підвищення ефективності транспортного засобу при застосуванні альтернативної СУ замість ДВЗ залежить від умов його функціонування. У цьому полягає основна відмінність підходу до оцінки перспективності використання транспортних засобів з гібридними силовими установками від методів оцінки ефективності транспортних засобів з удосконаленою конструкцією ДВЗ і тих, які використовують альтернативні енергоносії.

Інше актуальне питання – аналіз конструкції відомих на сьогодні альтернативних силових установок автотранспорту.

Як джерело механічної роботи на колісному транспортному засобі може бути використано: електропривід, інерційний привід, пневмо- чи гідропривід тощо. Розглянемо дані види енергоустановок детальніше.

Електродвигун здатний працювати в широкому діапазоні обертів, стійкий до короткочасного перевантаження та розвиває максимальний обертовий момент на валу з моменту запуску. Його тягова характеристика надає можливість відмовитись від зчеплення та коробки перемикання

передач (для реалізації заднього ходу достатньо змінити полярність на вхідних контактах двигуна) і при цьому зберегти здатність долати автомобілем підвищений опір дороги та розвивати великі прискорення. Конструкція в електродвигуна простіша, ніж у ДВЗ (менше рухомих частин, менша вага та габарити окремих елементів), що обумовлює його більшу надійність, меншу вартість і розміри. Унаслідок цього на автомобілях допустимо використовувати кілька електродвигунів (наприклад мотор-коlesa). Однак найбільш вагомою перевагою електродвигуна є його висока ефективність – коефіцієнт корисної дії електросилової установки досягає 90 % [21]. Єдиною перешкодою для широкого використання електродвигунів на автомобільному транспорті є відсутність ефективного джерела електроенергії (питома енергоємність сучасних свинцевих акумуляторів не перевищує 0,04 кВт·год/кг, а вартість запасеної з їх використанням електроенергії для автомобіля співрозмірна з вартістю нафтового пального [21]).

Інерційні накопичувачі енергії можуть приводити транспортний засіб у рух без проміжних енергоперетворень, за яких розсіюється до 10 % потоку, забезпечивши при цьому коефіцієнт корисної дії силової установки близький до одиниці. Крім того, сучасні маховики мають одні з найвищих значень показника питомої енергоємності (до 0,5 кВт·год/кг) [21]. Однак, на теперішній час ще не розроблені ефективні методи передачі потужності від маховика на колісні рушії та в зворотному напрямку.

Пнеumo- і гідроприводи характеризуються простотою, надійністю і невеликими значеннями масогабаритних показників, дешевизною енергоносія (як правило, це стиснуте повітря). Проте їх енергоакумулятори мають малу питому енергоємність і високий рівень аварійної небезпечності.

Спільною ознакою всіх указаних силових установок є складність наповнення енергоносія свіжою порцією заряду з зовнішнього середовища (процедура вимагає спеціального стаціонарного обладнання), велика тривалість підзарядки та мала ємність енергоносія. Це обумовлює проблему “прив’язаності” автотранспортних засобів з альтернативними силовими установками до пунктів підзарядки. На прикладі автомобілів з електроприводом розглянемо відомі способи вирішення цієї проблеми.

Одним з можливих напрямів підвищення автономності електроавтомобілів (а також зменшення їх ваги) є використання принципу мобільної електростанції, тобто установка замість (або додатково до) акумуляторної

батареї власного генератора електричної енергії. Він може бути на основі ДВЗ або на паливних елементах. Паливні елементи надають можливість напряму перетворювати хімічну енергію в електричну, однак дана технологія поки що не набула широкого використання на автотранспорті через вибухонебезпечність, високу питому вартість паливних елементів (до 10 000 грн/кВт) та сильне електромагнітне випромінювання. Разом із тим, більшість спеціалістів вважають [21], що у короткостроковій перспективі найбільш доступне джерело електроенергії на колісному транспортному засобі – це електрогенератор.

Отже, як предмет подальшого дослідження перспектив застосування колісних транспортних засобів з комбінованими (гібридними) силовими установками в оперативно-службовій діяльності прикордонних підрозділів доцільно розглядати автомобілі, виконані за схемою, яка подана на рис. 2.

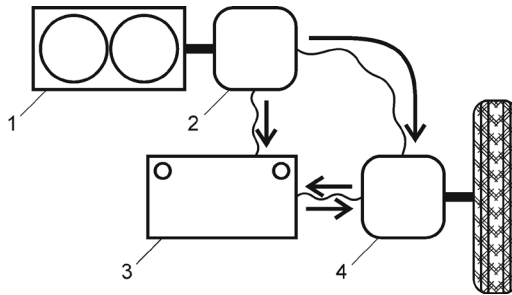


Рис. 2. Схема силових установок гібридного автомобіля:

1 – двигун внутрішнього згоряння, 2 – генератор, 3 – накопичувач електроенергії,
4 – силовий модуль

До складу такої силових установок входить: генератор, електронакопичувач і силовий модуль. Генератор (мотор-генератор, стартер-генератор) установлюється безпосередньо на колінчастому валу ДВЗ і, як правило, додатково виконує функції запуску двигуна. Електронакопичувач може бути на основі акумуляторів (Li-ion, Ni-MH, Ag-Zn тощо) або на основі суперконденсаторів. Силовий модуль (тяговий двигун) приводить в дію ведучі колеса автомобіля та забезпечує рекуперацію електроенергії в режимі гальмування.

Загалом, вищеописані гібридні силові установок характеризуються складною структурою прямих і зворотних зв'язків між режимами руху автомобіля і режимами роботи окремих підсистем трансформації енергії.

Їх загальна ефективність (за рахунок синергетичного ефекту й інтелектуального керування енергетичними потоками) значно вища, ніж у класичних силових установок на базі двигунів внутрішнього згорання.

Зважаючи на виявлену специфіку предмета дослідження, недостатню розкритість питань визначення ефективності використання такого роду об'єктів в умовах прикордонних підрозділів та необхідність формування технічних вимог до автотранспортних засобів [12], існує потреба у розробці методики оцінки ступеня перспективності застосування транспортних засобів з гібридними силовими установками в оперативно-службовій діяльності підрозділів охорони кордону. Вирішити дану задачу пропонується на основі критерію ефективності транспортного процесу [22], урахувавши при побудові моделі виконання транспортної роботи підрозділу [23] синергетичний характер функціонування гібридних транспортних засобів.

Висновок. У результаті аналізу тенденцій розвитку автотранспорту, сучасного рівня автомобільних технологій і резервів підвищення ефективності функціонування транспортних засобів прикордонних підрозділів було встановлено, що існує потреба у розробці методики оцінки ступеня перспективності застосування транспортних засобів з гібридними силовими установками в оперативно-службовій діяльності підрозділів охорони кордону.

Напрямки подальших наукових досліджень. У подальшому для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити низку часткових завдань, а саме:

- 1) дослідити умови, які вагомо впливають на функціонування автотранспорту підрозділів охорони кордону, надати змістовний опис виконання транспортної роботи окремого підрозділу;
- 2) побудувати модель енергобалансу транспортних засобів прикордонних підрозділів;
- 3) провести оптимізацію керованих параметрів моделі й обґрунтувати технічні вимоги до транспортних засобів з гібридними силовими установками – сформулювати опис “еталонного” зразка;
- 4) здійснити техніко-економічну оцінку перспективності використання транспортних засобів з гібридними силовими установками на прикладі “еталонного” зразка.

Список використаної літератури

1. Барінова Л. Д. *Экология и транспорт* / Л. Д. Барінова // РАН. *Транспорт : наука, техника, управление*. – 1997. – № 7. – С. 5–10.
2. Гутаревич Ю. Ф. *Запобігання забрудненню повітря двигунами* / Ю. Ф. Гутаревич. – К. : Урожай, 1982. – 64 с.
3. Дьяков А. К. *Экологическая безопасность транспортных потоков* / А. К. Дьяков, Ю. В. Игнатъев, Е. П. Кошкин. – М. : Транспорт, 1989. – 128 с.
4. Гутаревич Ю. Ф. *Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта : уч. пособие* / Ю. Ф. Гутаревич, А. Г. Говорун, А. И. Ковалев. – К. : УМК ВО Минвуза УССР, 1989. – 138 с.
5. Луканин В. Н. *Оценка влияния транспорта на загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах* / В. Н. Луканин // РАН. *Транспорт : наука, техника, управление*. – 1997. – № 6. – С. 2–5.
6. Лютко В. А. *Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания* / В. А. Лютко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М. : МАДИ(ТУ), 2000. – 311 с.
7. Мищенко А. И. *Применение водорода для автомобильных двигателей* / А. И. Мищенко. – К. : Наук. думка, 1984. – 143 с.
8. *Обґрунтування критеріїв відповідності експлуатаційних властивостей транспортних засобів умовам їх застосування у підрозділах охорони кордону : звіт про НДР №010-0001А*. – Хмельницький : ДПСУ, 2011. – 227 с.
9. Подолян О. Ю. *Обґрунтування технічних вимог до окремих показників якісних властивостей транспортних засобів підрозділів охорони державного кордону з урахуванням специфічних умов їх функціонування* / О. Ю. Подолян // *Збірник наукових праць. Серія : Військові та технічні науки*. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2010. № 54. Ч. II. – С. 86–93.
10. Подолян О. Ю. *Особенности оценки соответствия функциональных властивостей транспортних засобів підрозділів органів охорони кордону їх завданням та умовам експлуатації з урахуванням перспектив розвитку транспорту* / О. Ю. Подолян // *Современные направления теоретических и прикладных исследований* 2009 : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Том 1 : *Транспорт (Одесса, 16–27 марта 2009 года)* [Одесский национальный морской университет]. – Одесса : Издательство Черноморье, 2009. – С. 3–4.
11. Шевченко А. Ф. *Стартер-генераторное устройство для легковых автомобилей класса ВАЗ-2110* / А. Ф. Шевченко, А. С. Медведко, Ю. Г. Бухгольц // *Электротехника*. – 2003. – № 9. – С.15–19.
12. *Про затвердження Державної цільової правоохоронної програми “Облаштування та реконструкція державного кордону” на період до 2015 року* [текст] :

постанова Кабінету Міністрів України від 13.06.2007 № 831 // Офіційний вісник України від 25.06.2007 – 2007. – № 44. – С. 89.

13. Коломийчук С. В. Розробка методики виборки автомобилей багатоцелевого призначення для забезпечення оперативно-службової діяльності ПВУ з урахуванням їх ремонтпригодності : дисс. ... канд. техн. наук: 20.02.14 / С. В. Коломийчук. – Хмельницький : Видавництво АПВУ, 1998. – 236 с.

14. Осташевський С. А. Методика вибору грузових і спеціалізованих автомобилей для комплектування підрозділів матеріального забезпечення Пограничних військ України : дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14 / С. А. Осташевський. – Хмельницький : Видавництво АПВУ, 2002. – 196 с.

15. Носов В. С. Моделювання системи з метою вибору раціональних транспортних засобів : дисс. ... канд. техн. наук / В. С. Носов. – Львів, 1981. – 168 с.

16. Автомобільні двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М. Г. Шатров, К. А. Морозов, И. В. Алексеев и др.]; под ред. М. Г. Шатрова. – М. : Издательский центр “Академия”, 2010. – 464 с.

17. Про енергозбереження [текст]: Закон України від 01.07.1994 № 75/94-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 30. – С. 284.

18. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [текст] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145. – Київ, 2010. – 129 с.

19. Кабардин О. Ф. Фізика : Справ. матеріали : учеб. пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. – 3-е изд. – М. : Просвещение, 1991. – 367 с.

20. Правила дорожнього руху : офіційне видання : з кольоровою дорожньою розміткою і ПДР в таблицях. – К. : Видавництво А. С. К., 2011. – 64 с. : іл.

21. Интегрированный стартер-генератор – основа перспективных конструкций автомобиля / К. Э. Буренков, Ю. А. Купеев, А. Н. Агафонов и др. // Автотракторное электрооборудование. – 2001. – № 3–4. – С. 23.

22. Подолян О. Ю. Методика вибору зразків транспортних засобів для формування раціонального складу парків відділів прикордонної служби та мобільних підрозділів органів охорони державного кордону / О. Ю. Подолян // Збірник наукових праць. Серія : Військові та технічні науки. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2011. – № 55. Ч. II. – С. 82–87.

23. Подолян О. Ю. Модель паливної економічності зразків транспортних засобів відділів прикордонної служби та мобільних підрозділів органів охорони державного кордону / О. Ю. Подолян, О. В. Боровик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – Хмельницький, 2011. – № 1 (172). – С. 50–56.

Рецензент – доктор технічних наук, доцент Лисий М. І.

Стаття надійшла до редакції 18.01.2013.

Подольян О. Ю. Перспективы использования транспортных средств с гибридными силовыми установками в ходе выполнения задач оперативно-служебной деятельности подразделений охраны государственной границы

В статье приведены выявленные резервы повышения эффективности функционирования транспортных средств пограничных подразделений, обоснована актуальность исследования вопросов использования гибридных транспортных средств в Государственной пограничной службе Украины, установлен синергетический характер функционирования транспортных средств с гибридными силовыми установками. На основании выявленных фактов разработана структура подхода к оценке эффективности использования гибридных транспортных средств в оперативно-служебной деятельности подразделений охраны границы, сформулированы частные задачи исследования.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, условия функционирования, пограничное подразделение, эффективность, оценка.

Podolian O. Y. Prospects for application of vehicles with hybrid power installations while carrying out of operation and service activities by the border guard units

The article reveals reserves for increasing of efficiency of functioning of vehicles of border units. The topicality of research about the application of hybrid vehicle in the State Border Guard Service of Ukraine has been substantiated. The synergistic nature of operation of vehicles with hybrid power installations has been defined. Based on the results of research the structure of approach to evaluation of efficiency of application of hybrid vehicles in the operation and service activities of the border guard units has been developed. The partial objectives of the research has been formed.

Keywords: hybrid power installation, operation conditions, border guard unit, efficiency, evaluation.