

ГІБРИДНИЙ ПРИВІД ВАНТАЖОПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЯ «МАМАЙ-2» ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ

Андрій Кіхтан¹, Дмитро Налесник²

¹*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,*

²*Національний університет «Львівська політехніка»*

м. Львів, Україна

e-mail: kwest@ukr.net; e-mail: dmytro.nalesnyk@gmail.com

<https://doi.org/10.32718/agroengineering2025.29.57-63>

Кіхтан А., Налесник Д. Гібридний привід вантажопажирського автомобіля «Мамай-2» для бездоріжжя

Проаналізовано конструкції гібридного приводу автотехніки для бездоріжжя, насамперед військової, що віднедавна почала з'являтися у передових арміях НАТО. Узагальнено умови використання дизельних автомобілів – багті «Мамай» у військових операціях спільно із фахівцями ВАТ «Укравтобуспром». На основі цього опрацьовано схему приводу та необхідні параметри і характеристики щодо категорій M1/N1 класу SG із забудою типу AF згідно з Директивою ЄС № 2018/858. Докорінною відмінністю від серійних гібридних легкових автомобілів та повнопривідних кросоверів є зміна схеми приводу – перехід на послідовну (seriell) та збільшення на порядок ємності батареї з умов забезпечення значного запасу ходу бездоріжжям на електротязі при відключеному дизель-генераторі. Враховуючи різноманітність бездоріжжя, розглянуто питання диференційованої оцінки запасу ходу залежно від умов руху. Оцінено розрахунок необхідної ємності батареї та потужності дизель-генератора. Розглянуто питання додаткового захисту батареї та електроприводу в умовах боліт і водних перешкод, а також загальні питання компоновання автомобіля для бездоріжжя, у тому числі підвіски, як визначальної умови мобільності (швидкісних режимів) руху – обмеження граничним рівнем віброприскорень, формування передавального діапазону трансмісії та підбору відповідного типорозміру шин.

На базі розвитку дизельного багті «Мамай» опрацьовано агрегатну комплектацію під експлуатаційну масу до 2 т та оцінено потенційний запас ходу, зокрема варіант використання агрегатної бази поширених Nissan Leaf та Toyota Prius в умовах війни і, відповідно, обмеженого терміну експлуатації.

Ключові слова: автомобіль, гібридний привід, бездоріжжя, запас ходу, схеми трансмісій, ємність батареї.

Kikhtan A., Nalesnyk D. Hybrid drive of the "Mamai-2" cargo-passenger off-road vehicle

Based on the conducted review and analysis of hybrid drive system designs for off-road vehicles, primarily military ones, which have recently begun to appear in the advanced NATO armies, and on the generalization of operating conditions for diesel vehicles such as the Mamai buggy used in military operations, a drivetrain layout and the required parameters and characteristics have been developed in cooperation with specialists from PJSC "UkrAvtoBusProm." These developments correspond to categories M1/N1 of class SG with AF-type bodywork in accordance with EU Directive No. 2018/858.

The fundamental difference from mass-produced hybrid passenger cars and all-wheel-drive crossovers lies in the modification of the drivetrain configuration - transitioning to a series (serial) hybrid scheme - and a tenfold increase in battery capacity to ensure a substantial all-electric range in off-road conditions with the diesel generator disengaged. Considering the diversity of off-road terrains, the issue of differentiated range assessment depending on driving conditions has been examined, along with the subsequent calculation of the required battery capacity and diesel generator power.

Special attention has been given to the additional protection of the battery and electric drive components under conditions involving swamps and water obstacles. General aspects of vehicle layout for off-road applications have also been analyzed, including the suspension system as a key determinant of mobility (speed regimes) constrained by maximum permissible vibration accelerations, the formation of the transmission gear ratio range, and the selection of appropriate tire sizes.

Building on the development of the diesel-powered Mamai buggy, an aggregate configuration has been elaborated for an operational mass of up to 2 tonnes, along with an evaluation of the potential driving range, including the possibility of using components from widely available Nissan Leaf and Toyota Prius vehicles (considering wartime conditions and the correspondingly limited service life).

Keywords: vehicle, hybrid drive, off-road, driving range, transmission layouts, battery capacity.

Постановка проблеми. Застосування гібридного приводу на автомобілях для бездоріжжя (передусім військових, на базі яких і аграрні модифікації та машини для надзвичайних ситуацій

тощо) починається фактично впродовж останніх трьох-шести років, із запізненням майже на 20–25 років порівняно з автомобілями загального призначення [9; 14; 26]. Це обумовлено не тільки

значно складнішими умовами використання, а й зміною цільового пріоритету використання гібридного приводу – зменшення на порядок імовірності локації руху машин у інфрачервоному та звуковому спектрах частот, а також використання дизель-генераторів приводу для енергозабезпечення інших споживачів в умовах війни та проблем із стаціонарними лініями електропередач. Останнє обмежує і використання конструктивно простішого й дешевшого суто батарейного електроприводу, що вже використовуються на фронті на дистанційно керованих невеликих автомобілях повною масою в межах 0,3–1 т, так званих наземних роботизованих комплексів (НРК), десятків моделей яких віднедавна на волонтерських ініціативах з'явилися і в ЗСУ [12]. Обмежені вантажність, швидкість руху в межах 10–20 км/год та запас ходу 10–20 км звично не можуть перекрити потребу в більшій автотехніці, щорічні втрати якої на війні сягають до двох десятків тисяч одиниць. Водночас власне електропривід найзручніший для дистанційного управління машиною без водія (UGV – un manned ground vehicle за класифікацією НАТО). Усе це й зумовило замовлення з боку МОУ на 2026 рік першої промислово-дослідної партії баггі – як UGV дистанційного, так і ручного, безпосередньо водієм, керування [13]. Очевидна актуальність і вітчизняних відповідних машин, враховуючи їхню необхідну кількість та вартість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із зрозумілих причин публікацій щодо власне проектування військової автотехніки (ВАТ) у відкритому доступі практично немає. З аналізу доступної інформації на сайтах основних виробників (Polaris, Oshkosh, Rheinmetall Defency, Arquus тощо) та відкритих патентних відомств очевидно,

що домінуючою схемою гібридного приводу ВАТ є власне послідовна (seriell), на відміну від гібридних автомобілів і кросоверів категорії М1, де домінує схема паралельного приводу [8]. Це підтверджується і прем'єрою у 2024 році власне вищезгаданого сімейства машин Ermelin (Hermelin – горностай у ФРН) (рис. 1) [19], і результатами роботи Державної агенції США з розвитку озброєння, де з 2011 року розпочалися роботи з військової автотехніки з гібридним приводом практично в усіх найбільш розповсюджених у парках ВАТ вагових категоріях – від 1,5 до 12 т (рис. 2) [21]. Упродовж останніх двох–трьох років у процесі переходу армії США на автотехніку нового покоління перші партії автотехніки з гібридним приводом надійшли на озброєння. Лідером у цьому плані, однак, є армія Ізраїлю, де ще з 2016 року з'явилися роботизовані легкоброньовані бойові баггі Guardium (рис. 3) [22].

Зрештою, і у США на базі баггі з гібридним приводом уже проходять випробування бойової роботизованої машини [2]. Актуальність гібридного приводу для легких тактичних автомобілів – військових баггі – підтверджена відповідною розробкою і в Литві (рис. 3) [3] – країні, де не було власного автопрому, але яка має спільний кордон із рф. Слід зазначити, що і у рф два роки тому військово-промисловий концерн «Калашніков» (найбільший виробник стрілецької зброї та з наявними авто виробництва – ИЖ «Москвич») представив дослідний зразок військового баггі з гібридним приводом [17], що має реальні шанси на промислове виробництво (окрім трьох уже наявних промислових виробництв баггі на агрегатній базі ВА3-2121 «Нива»). Нещодавно з'явилась інформація щодо випробування роботизованого баггі з гібридним приводом вантажністю 250 кг (у тому числі на війні) [4].



Рис. 1. Промислово-дослідні зразки баггі Ermelin з гібридним приводом [19]
Fig. 1. Experimental and industrial prototypes of Ermelin buggies with a hybrid drive [19]



(b) Raytheon Hy-DRA



(a) XM1124

Рис. 2. Дослідні зразки легкої військової автотехніки з гібридним приводом США [21]
Fig. 2. Experimental prototypes of U.S. light military vehicles with hybrid powertrains [21]



Рис. 3. Роботизоване бойове баггі Guardium [22] та баггі з гібридним приводом Krampus [3]
Fig. 3. Guardium robotic combat buggy [22] and Krampus buggy with a hybrid powertrain [3]

Постановка завдання. Наше завдання – визначення необхідних характеристик та параметрів базових агрегатів гібридного приводу баггі, як розвитку проекту «Мамай» з умов тричотириразового збільшення швидкості та дальності руху на електротязі, зокрема необхідного передавального діапазону приводу з умов досягнення швидкості руху 100–120 км/год при виході тягового електродвигуна на максимальну потужність, а також корисного навантаження (вантажності) порівняно з наявними у ЗС України НРК [12].

Виклад основного матеріалу. Відомі методики розрахунку необхідних параметрів та характеристик гібридного приводу прив'язані до автомобілів загального призначення і, відповідно, до домінуючої там схеми паралельного приводу, де тяговий електродвигун і батарея відіграють тільки допоміжну роль щодо тягового бензинового або дизельного двигуна [7; 15; 20; 27]. Послідовна схема приводу (seriell), що домінує у вищезгаданих

зразках військової автотехніки (табл. 1), обумовлює і інший підхід до визначення необхідних характеристик базових агрегатів [10; 11]. Основні засади щодо формування базових характеристик підтверджують і нечисленні зарубіжні публікації щодо послідовної схеми [18; 23; 24], однак вимагають певної корекції в реаліях сучасної війни з рф. Зокрема:

- значно зросли вимоги щодо мобільності руху бездоріжжям (відповідно, й параметрів приводу та підвіски і стійкості руху) – до 70–80 км/год при збереженні умови забезпечення максимальної швидкості на асфальтобетоні більше ніж 100–110 км/год (з урахуванням швидкісних обмежень для наявних типорозмірів шин із всюдихідним протектором);

- збільшення запасу ходу до 40 км бездоріжжям на батарейній електротязі при вимкненому дизель-генераторі – з умов локації руху ВАТ у інфрачервоному (тепловізори) та звуковому спектрах частот.

Таблиця 1. Базові параметри легких військових автомобілів/баггі з гібридним приводом [2; 19; 21]
Table 1. Basic parameters of light military vehicles/buggies with hybrid powertrains [2; 19; 21]

Модель	Рік	Схема при-воду	Маса, кг повна / вантажність	Двигуни, кВт		Батарея кВт/год	Запас ходу, км	Макс. швидк. км/год	Розгін до 80 км/год, с
				тягов./генер.	двз				
HMMWV XM1124	2004	Seriell	4130 / 770	100/30	100	24	-	128	7
CERV	2011	Seriell	2945 / 1350	100/50	1,4L	22	19,5	128	-
Ermine UGV	2024	Seriell	1375 / 500	2x30	F34	16	-	90	-
Ermine 6x6	2024	Seriell	2300 / 1000	3x30 /	F34	32	-	90	-
Polari Kinetic	2019	Seriell	/567	70/		14,9	72	90	

Відповідно, визначальною умовою формування необхідної потужності тягового електродвигуна (впродовж понад 15–20 хв стабільного теплового режиму) є власне забезпечення швидкості руху типовим бездоріжжям при повній масі автомобіля, рух при швидкостях 100–120 км/год на асфальтобетоні є менш енергозатратним. Питання власне у визначенні «типового бездоріжжя», при всьому його розмаїтті й характерних особливостях для різних країн [6; 27]. Для України типовим можна вважати чорнозем (в усіх його різновидах і станах), що займає понад $\frac{2}{3}$ площ потенційних бойових дій (і, на жаль, реальних). Останній практично відсутній на територіях країн НАТО і недостатньо вивчений у террамеханіці [27]. Характерною особливістю чорнозему є підвищена липучість у вологому стані, що зумовлює окремі вимоги щодо висоти протектора та ненадмірного насичення ним бігової доріжки шин (на кшталт звичних ведучих вітчизняних шин колісних тракторів, хоча вони обмежені швидкісними режимами до 40–50 км/год). Очевидно, що для чорнозему, зрештою просто для глинистих і

суглинкових ґрунтів, в абсолютно розмоклому стані на глибину понад 30 см реалізація необхідного тягового зусилля для забезпечення швидкості 80 км/год малоімовірна через відповідне падіння сили зчеплення шин із опорною поверхнею. Значно триваліші періоди характерні для помірного зволоження ґрунту із вмістом вологи у діапазоні 30–40 % вологості, що є пороговим із умов запасу тяги із зчеплення для досягнення 80 км/год для більшості типажу ВАТ. Звичним (і нормативним у НАТО) показником стану ґрунту, як опорної поверхні, є показник твердості – так званий конусний індекс CI (cone index) у діапазоні 380–420 кПа для такого випадку [6; 10].

З урахуванням досвіду проектних робіт та експериментальних досліджень тактичного баггі «Мамай» із дизельним двигуном VW потужністю 110 к.с. спільно з ВАТ «Укравтобуспром» опрацьовано концепцію розвитку його конструкції під гібридний привід та зміни з урахуванням збільшення спорядженої маси та забудови нової агрегатної, передусім акумуляторної батареї (рис. 4) [11].

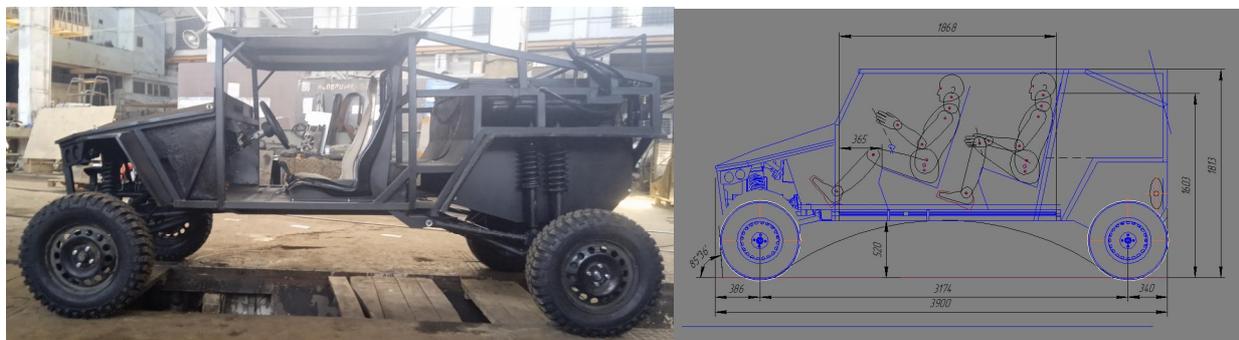


Рис. 4. Дизельне базове баггі «Мамай» та зміни «Мамай-2» з гібридним приводом
Fig. 4. Diesel baseline “Mamai” buggy and “Mamai-2” modifications with hybrid powertrain

Для проведення розрахунків методами імітаційного моделювання у програмному середовищі MATLAB Simulink [10], насамперед з умов енергозатратності руху і запасу ходу, важлива оцінка к.к.д. елементів силового електричного приводу, що відрізняється від звичного дизельного. З аналізу відомих досліджень [1; 5; 16] випливає, що ефективний к.к.д. тягового електродвигуна на реальних режимах роботи під час руху є в діапазоні 0,78–0,92, з умов оцінки запасу ходу орієнтуємось на 0,87. К.к.д. перетворення постійного струму з батареї у змінний для двигуна орієнтовно 0,985, к.к.д. головної конічної передачі – близько 0,99. Окрім того, у процесі руху витрати електроенергії на світлотехніку (в темну пору доби), електропривід гальм та електропідсилювач кермового механізму, що загалом вимагає окремого дослідження в реальній експлуатації та опосередковано можна прийняти в обсязі від 0,07 до 0,4 кВт.год – за наявності електропідсилювача керма та використання світлотехніки.

Формування передавального діапазону трансмісії (тут головної передачі, для певних категорій ВАТ і понижувальної передачі роздавальної коробки) визначається з умов потрапляння в зону так званого перелому тягового електродвигуна – досягнення і стабілізації номінальної потужності та початку пропорційного падіння крутного моменту. З урахуванням радіуса кочення попередньо підбраного типорозміру шин для бездоріжжя (з умов кліренсу, вантажності та допустимої швидкості руху) для заданої швидкості (аеродинамічний опір рухові) та сумарного опору коченню шин і деформації ґрунту (за відомого значення твердості СІ) можна визначити нижню межу необхідної потужності – крутного моменту тягового електродвигуна [10].

Попередня оцінка – визначення передавального відношення головної передачі u_0 з умов потрапляння в зону частоти обертання n_k за так званого перелому тягової характеристики регламентованої швидкості руху $V = 80$ км/год бездоріжжям із відомим опором руху:

$$u_0 = 0,377 n_k r_k / V \quad (1)$$

з наступною перевіркою – корекцією отриманого значення u_0 з умов забезпечення тягового зусилля F_k ведучих коліс переборення сил сумарного опору усталеного руху при 80км/год та оцінкою реалізації тяги з умов зчеплення шин з опорною поверхнею:

$$F_k \leq \mu G_k \quad (2)$$

$$M_e \geq (\psi G_a + k F V^2 / 13) r_k / u_0 \eta \quad (3)$$

при

$$F_k = M_e u_0 \eta / r_k \quad (4)$$

де V – швидкість руху, тут 80 км/год; M_e – крутний момент електродвигуна в зоні n_k ; G_k , G_a – зчїпна маса на ведучих колесах та повна маса автомобіля; ψ – коефіцієнт сумарного опору коченню коліс, включно опір деформації ґрунту; kF – коефіцієнт аеродинамічного опору кузова автомобіля та площа поперечного перерізу; r_k – радіус ведучих коліс (з урахуванням радіальної деформації через навантаження на вісь; η – к.к.д. трансмісії.

Звично, що, окрім варіабельності значення u_0 , корегуванню підлягає і типорозмір ведучих шин – r_k .

Забезпечення максимальної швидкості 110–120 км/год на асфальтобетоні при виконанні вищевикладеної умови руху 80 км/год легкорозмоклим бездоріжжям, як показали результати імітаційного моделювання руху програмному середовищі MATLAB Simulink, є безпроблемним унаслідок відчутно меншого опору рухові та значному швидкісному діапазону роботи сучасних електродвигунів змінного струму електромобілів у зоні поза n_k за практично максимальної потужності.

Враховуючи реалії воєнних дій і домінування ударних дронів у зоні руху ВАТ переднього краю та відповідні втрати автотехніки до 15–20 тис. шт. річно, відповідно невеликі терміни служби та величини пробігів, обмежені кошти, здебільшого волонтерські, на поповнення автопарку, на першому етапі опрацьовано варіант агрегатної комплектації баггі «Мамай-2» (рис. 4) гібридним приводом із використанням тягового електроприводу Nissan Leaf 1-ї генерації та, враховуючи значні запаси зберігання пошкоджених у ДТП патрульних Toyota Prius III генерації у МВС України, і реальний варіант переробки приводу Prius III на схему seriell [9]. Звично в обидвох варіантах передбачено використання відносно дешевої вживаної літій-іонної батареї Leaf із залишковою ємністю 18–20 кВт.год, що дозволяє забезпечити, як показують результати комп'ютерного моделювання руху на зволоженому бездоріжжі при швидкостях 40–50 км/год, запас ходу на електротязі (при вимкненому дизель-генераторі) близько 40 км [5; 25]. Звично, що логічне бажання збереження заводського виконання – упаковки батареї. Окрім цього, додатковий захист під специфіку використання у військових діях та вага 292 кг, зумовили необхідність збільшення колісної бази (див. рис. 4), що у свою чергу дозволяє варіант із повноцінною компоновкою – забудовою двох рядів пасажирських сидінь та можливістю трансформації у значно збільшене вантажне відділення.

Питання зарядки батареї у польових умовах і проблемності доступу до стаціонарних ліній електромереж є очевидними. До комплектації сучасних електромобілів входять зарядні пристрої від побутової електромережі 220–230 В із випрямлячем зарядки батареї постійним струмом потужністю 4–7 кВт, що обумовлює реалію доукомплектування багті (на агрегатній базі Leaf) звичним дизель- або бензогенератором відповідної потужності.

Розробка і промислова реалізація гібридного приводу схеми seriell створює основу для подальшого розвитку конструкції в плані дистанційного управління – НРК.

Висновки. Реалізація гібридного приводу легкого ударного автомобіля переднього краю – військового багті дозволяє не тільки на порядок знизити ймовірність локації руху противником в інфрачервоному та звуковому спектрах частот, але створює базу для реалізації і безпечної дистанційного управління – наземного роботизованого комплексу (НРК). Значно більші швидкості – до 80–100 км/год, та дистанції автономного руху – до 40 км, а також корисне навантаження – до 700 кг (на прикладі проекту «Мамай-2») порівняно до наявних уже НРК, дозволяють і розширити сферу використання цього класу НРК – від транспортно-логістичних до бойових із різними типами озброєння. Звично, що найбільшою проблемою в умовах інтенсивного використання засобів радіоелектронної боротьби є надійність і ефективність засобів зв'язку – дистанційного управління НРК.

Бібліографічний список

1. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатов А. В., Колесніков В. А. Гібридні автомобілі. Харків: ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Бойові роботи – багті Racer проходять випробування: навіщо вони військовим та чим допоможуть. URL: <https://focus.ua/uk/digital/561397-bojovi-roboti-baggi-racer-prohodyat-viprobuvannya-navisho-voni-vijskovi-ta-chim-dopomozhut> (дата звернення: 15.02.2025)
3. В Литве представили гибридный багги Krampus с запасом хода 1000км / 08.09.2021. URL: <http://focus.ua>492315-v-litve-predstavili>... (дата звернення: 15.02.2025)
4. Військові роботи «Депеша» і «Багті»: в РФ знайшли засоби для боротьби з зубами дракона URL: <https://focus.ua/voennye-novosti/649892-novye-roboty-depesha-i-baggi-v-rf-nashli-sredstvo-dlya-borby-s-zubami-drakona> (дата звернення: 15.02.2025)
5. Грубель М. Г., Крайник Л. В., Хома В. В. Імітаційне моделювання руху колісної військової автомобільної техніки бездоріжжям та оцінка його адекватності. *Автошляховик України*. Київ, 2020, № 2. С. 21–28.
6. Грубель М. Г., Крайник Л. В. Прохідність військових автомобілів: монографія. Київ: Професіонал, 2023. 182 с.
7. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою: дис... д-р техн. наук: 05.22.02. Харків, 2018. 394 с.
8. Кіхтан А. Аналіз існуючих конструкцій та формування схеми гібридного приводу колісної автотехніки високої прохідності. *Вісник ЛНУП. Серія «Агроінженерні дослідження»*. 2024. № 28. С. 63–71.
9. Крайник Л. В., Кіхтан А. В., Кохан В. Ф., Волощук М. Я. Концептуальні основи формування гібридного привода автомобіля високої прохідності. *Військово-технічний збірник*. 2022. № 27. С. 10–17.
10. Крайник Л., Кіхтан А., Габріель Ю. Методичні засади визначення базових параметрів гібридного приводу автомобіля високої прохідності. *Вісник ЛНУП. Серія «Агроінженерні дослідження»*. 2023. № 27. С. 27–34.
11. Крайник Т., Кіхтан А. Гібридний привід і структура шасі легкої ударної військової автотехніки. *Тези ІІ ВУНТК*, 20-22.06. 2024р., НТУ, Київ, 2024. С. 73–74.
12. Список бойових наземних платформ України. URL: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення: 15.02.2025)
13. Україна першою у світі отримає багі «Ерміне» від компанії Райнметал. URL: <https://military.com/uk/news/ukrayina-pershoyu-u-sviti-otrymae-bagi-ermine-vid-kompaniyi-rheinmetall/> (дата звернення: 15.02.2025)
14. Army hybrid vehicles power forward. 21 July 2021. URL: <https://www.army.mod.uk/news/2021/077-army-hybrid-vehicles-power-forward> (дата звернення: 15.02.2025).
15. Chris Mr., Abul Masrur, David W. Goo Hybridfahrzeuge.Grundlagen und Anwendungen mit Perspektiven fuer die Praxis /Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2014 512 s.
16. Chris Randall. Kalashnikow returns to russias roads. URL: <https://www.electrive.com/2018/08/26/kalashnikow-returns-to-russias-roads/> (дата звернення: 15.02.2025).
17. Dong Hwan Choi, Seong Jun Lee,Bo-Hyung Cho, Yeo Giel Yoon. Development of DesignTool for Hybrid Power Systems of Hybrid Electric Military Combat Vehicles. URL: <https://www.iri.upc.edu>VPPC10>uploads>PDF>paper>95-69838-final> (дата звернення: 15.02.2025).
18. Ermine (Hermelin) – Modular hybrid vehicle family. URL: <https://www.rheinmetall.com/en/products/tactical-wheeled-vehicles/tactical-wheeled-vehicles/ermine-hermelin> (дата звернення: 15.02.2025)

19. Fan B. S.-M. Multidisciplinary Optimization of Hybrid Electric Vehicles: Component Sizing and Power Management Logic / Dissertation, University of Waterloo, Canada, 2011. 172 p.
20. Giesbrecht J. Feasibility of Hybrid Diesel-Electric Powertrains for Light Tactical vehicles / Defence Research and Development Canada DRDC-2018-D049, June 2018. 21 p. URL: <http://cradpdf.drdc-rddc.ca/unc319/> (дата звернення: 15.02.2025)
21. Guardium. URL: <https://www.en.wikipedia.org> (дата звернення: 15.02.2025).
22. Krause M. Hybridantriebe fuer Militaer-Fahrzeuge. 29.05.2022. URL: <https://aetrans.de/hybridantiebe-fuer-militaerfahrzeuge> (дата звернення: 15.02.2025).
23. Liu Z., Marmun A.-M., Rizzo D., Onori S. Combined Battery Design Optimization and Energy Management of a Series Hybrid Military Truck. URL: <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/OnoriPDF/Journals/32.pdf> (дата звернення: 15.02.2025).
24. Miller T., Riozeni G., Li Q. Simulation – Based Hybrid Electric Vehicle Design Search. <https://doi.org/10.4271/1999-01-1150>
25. Mittal V., Novoselich B., Rodriguez A. Hybridization of US Army Combat Vehicles. SAE Technical Paper 2022-01-0371. <https://doi.org/10.4271/2022-01-0371>.
26. Vezzini Andrea. Optimierung des elektrischen Antriebssystem für ein Hybrid Fahrzeug. Dissert. ETH Zuerich, 1997. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-001772860>
27. Wong Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering. Second Ed. / Butterworth. London. 2010. 482 p.

Стаття надійшла 18.02.2025