

Шляхи вдосконалення автомобільного шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів встановленням гібридного силового агрегата

Рогозін І. В.¹, Новічонок С. М.¹, Нечаус А. О.², Ісаєв А. С.³

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

³ТОВ "ЕПАМ ДІДЖИТАЛ"

Анотація. У статті запропоновані шляхи вдосконалення автомобільного шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів встановленням гібридного силового агрегата. Проведено аналіз існуючих конструкцій військових автомобілів з гібридним силовим агрегатом, а також здійснено теоретичне обґрунтування варіанта модернізації автомобільного шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів встановленням гібридного силового агрегату за умовою забезпечення електричною енергією роботи власного спеціального обладнання та обладнання аеродрому. Використання наданого варіанта автомобільного шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів з гібридним силовим агрегатом надає можливість у подальшому розробити комплекти для модернізації будь-яких автомобілів до рівня PHEV під час проведення капітального або середнього ремонту.

Ключові слова: автомобільне шасі, гібридний силовий агрегат, джерело електроенергії, електромотор-генератор, засіб аеродромно-технічного забезпечення польотів, накопичувач електроенергії.

Вступ

Досвід відсічі збройної агресії Російської Федерації та сучасних збройних конфліктів свідчить про важливість аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації. Сучасна війна Російської Федерації проти України проілюструвала розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА), переважно FPV (розвідники, "камікадзе" та ін.) а також інших зразків високоточної зброї, які спроможні з відносно невисокими витратами знищувати або пошкоджувати ОБТ, у тому числі засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) та їх автомобільні шасі (АШ). Це викликає необхідність їх швидкого пересування під час ведення бойових дій [1–4].

Характер сучасних бойових дій, що постійно змінюється може викликати потребу у збільшенні кількості та напруженості операцій з забезпечення польотів авіації. Для надійного

забезпечення виконання завдання за призначенням АШ ЗАТЗП виникає потреба у:

- зменшенні часу на виконання операцій з забезпечення бойових дій (пересування особового складу та вантажів, виконання спеціальних операцій тощо);
- збільшенні швидкості руху АШ для зменшення вірогідності потрапляння під удар високоточної зброї;
- розосередженні та маскуванні;
- збільшенні виробничих можливостей ЗАТЗП;
- можливості постійного забезпеченні електроенергією встановленої якості:
 - а) в умовах відсутності або руйнування промислової електромережі;
 - б) додаткових систем (зв'язку, систем що перешкоджають роботі БПЛА або знищують їх, тощо);
 - в) потужного електричного обладнання, яке потрібне для проведення робіт з забезпе-

чення польотів авіації [1–5].

Одним, з шляхів вирішення цієї задачі може бути створення або модернізація під час капітального ремонту ЗАТЗП встановленням у трансмісії АШ електричної машини (мотор-генератора), яка під час руху забезпечить швидке пересування, а під час стоянки може бути застосована у якості джерела автономного електроживлення спеціального обладнання цих засобів [5–25].

Таким чином виникає потреба у вдосконаленні та розвитку ЗАТЗП та їх АШ.

Аналіз публікацій

Амос С. Фок у роботах [6, 7], проаналізував досвід минулих війн та сучасну війну Російської Федерації проти України відзначив, що воєнна логістика має враховувати виклики майбутніх війн та передбачати застосування:

- ворогом різноманітних далекобійних високоточних засобів ураження, у тому числі БпЛА всіх видів;

- засобів захисту, яких зазвичай немає в тактичних формуваннях, включаючи різноманітні кіберсистеми, засоби протиповітряної оборони та засоби введення в оману.

Все це робить майже неможливим здійснювати будь-які дії приховано, потребує у майбутніх війнах додаткового захисту, маскування та прикриття під час рух до місця застосування сил логістики. Він пропонує узагальнені підходи до вирішення проблем ураження логістичних шляхів та вважає реальною загрозою ураження ОВТ, які переважно орієнтовані на невідновлюване паливо, у тому числі пропозицій з розробки альтернативного відновлюваного палива для військової техніки та відновлюваних і перезаряджуваних джерел енергії [6–8].

На військовому форумі “Sustaining the Army of 2040” [8] командувачем матеріально-технічного управління армії США генералом Чарльз Гамільтоном було підкреслено, що для забезпечення майбутньої готовності армії до відсічі сучасних та перспективних загроз потребується вирішення підприємствами обов’язкових завдань, серед яких є «електрифікація платформ і використання альтернативних джерел палива».

В роботі [11] проведено теоретичне обґрунтування способу розрахунку параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів за умовою забезпечення роботи спеціального обладнан-

ня елементами автомобільного шасі. Проте у вказаній роботі не розглядається побудова структурної схеми та специфіка використання АШ ЗАТЗП.

В роботах [5, 9, 10] відмічається проблеми, що виникають при організації «пасивного» захисту автономних джерел систем електрозабезпечення військових об’єктів від ураження високоточною зброєю через їх стаціонарне розташування та значні площі маскування об’єктів. В [5] запропонована та обґрунтована потенційна доцільність напрямку сумісного розвитку військових транспортних засобів та пересувних джерел електричної енергії, який полягає у застосуванні та розвитку конструкції гібридних силових агрегатів автомобільних шасі. Розглянути питання застосування автомобільних шасі з гібридними силовими агрегатами, які мають властивості пересувних джерел електричної енергії. Але у вказаній роботі не враховується специфіка роботи ЗАТЗП.

Відомо [12, 18], що засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів включають до себе складові, які наведені на рис. 1.

Серед вказаних засобів є ті, що забезпечують електроенергією виконання робіт з аеродромно-технічного забезпечення польотів. До них відноситься електрогазова техніка засобів аеродромно-технічного обслуговування, а саме аеродромні пересувні електроагрегати (АПА) АПА-50, АПА-80, АПА-100 [18], які є на озброєнні Повітряних Сил ЗС України та які доцільно у першу чергу модернізувати встановленням гібридних силових агрегатів в їх АШ.

Аналіз останніх публікацій показав, що в них відсутні рекомендації щодо подолання протиріччя, зазначеного при постановці проблеми, а саме вибору функціональної схеми та визначення основних властивостей перспективного АШ з гібридним силовим агрегатом ЗАТЗП.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є розробка раціональної функціональної схеми та визначення основних властивостей перспективного автомобільного шасі з гібридним силовим агрегатом засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- аналіз існуючих конструкцій військово-

вих автомобілів з гібридним силовим агрегатом та вибір раціональної;

- розробка функціонної схеми перспективного АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом;

гатором;

- визначення основних параметрів гібридного силового агрегату перспективного АШ ЗАТЗП.



Рис. 1. Склад засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів (розроблено авторами за даними [12]).

Аналіз існуючих конструкцій військових автомобілів з гібридним силовим агрегатом

Конструкції сучасних АШ ОБТ постійно вдосконалюється. В силових агрегатах сучасних АШ переважно застосовуються двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Проте останнім часом набуває поширення застосування електричних та гібридних (як правило ДВЗ та електричний) двигунів. На увагу заслуговує те, що застосування саме АШ з гібридним силовим агрегатом поєднує в собі дві основних якості, які набувають великого значення в сучасній війні – висока мобільність та можливість виробітку електричної енергії [13–17].

Пріоритетним напрямком формування парку автомобільної техніки армій провідних країн світу є створення нових та широке застосування існуючих АШ цивільного призначення з додатковою доробкою. Так, наприклад, в армії США у якості АШ широко використовуються новітні уніфіковані сімейства повнопривідних багатоцільових автомобілів виробництва компанії Oshkosh Defense. За загальною класифікацією, яка надана на

рис. 2, їх можна поділити на чотири основні групи [13–15]:

- 1) легкі тактичні транспортні засоби (Light Tactical Vehicles (LTV)) – JLTV, L-ATV, S-ATV, eJLTV;
- 2) середні тактичні транспортні засоби (Medium Tactical Vehicles (MTV)) – FMTV, FMTV A2, MTVR;
- 3) важкі тактичні транспортні засоби (Heavy Tactical Vehicles) – HEMTT, HET, LVSR, PLS, Wheeled Tanker;
- 4) перспективні бойові транспортні засоби (Combat Vehicles) – безпілотна роботизована бойова машина (Robotic Combat Vehicle (RCV)) Oshkosh.

Компанією Oshkosh Defense виробляються АШ, які мають мінно-стійкий захист від засідки (Mine-Resistant Ambush Protected (MRAP)) та побудовані на базі наведених вище автомобілів. Залежно від призначення АШ мають капотне або безкапотне компонування.

Одним з перспективних напрямів, що розвивають сучасні автовиробники є розробка та застосування електричних та гібридно-електричних транспортних засобів (Hybrid

Electric Vehicle (HEV)), а також безпілотних (роботизованих) АШ. Слід відзначити, що практично у кожній з груп АШ, що виробля-

ються компанією Oshkosh Defense для збройних сил є моделі HEV, які на рис. 2 позначені пунктиром [13–15].

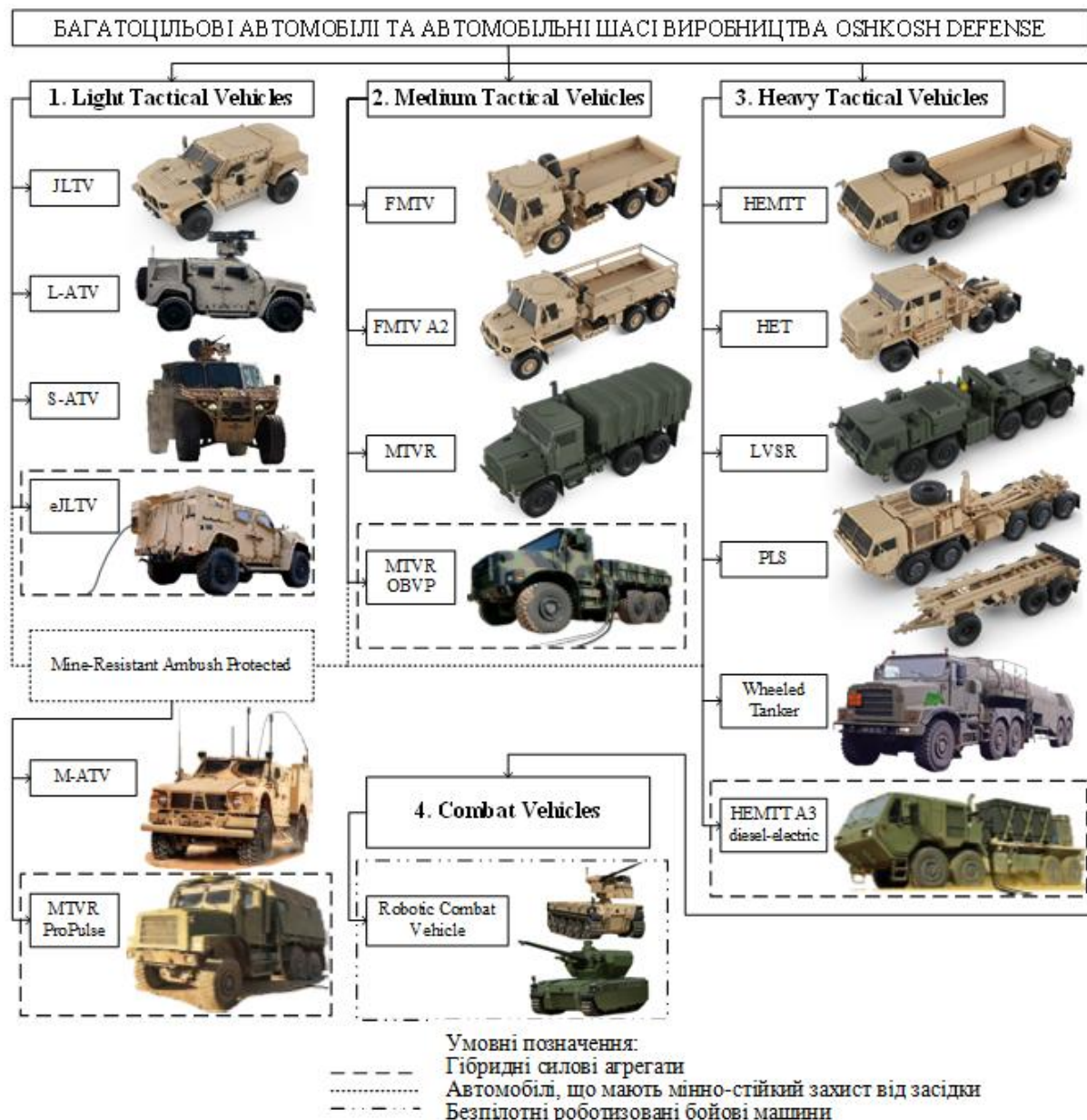


Рис. 2. Загальна класифікація військових КТЗ виробництва компанії Oshkosh Defense (США) (розроблено авторами за даними [13–15])

Проведені у різні періоди часу дослідження [5–8, 11, 13–19] вказують, що автомобілі з гібридним електричним силовим агрегатом мають покращену паливну економічність у порівнянні зі «звичайним» силовим агрегатом тобто з ДВЗ.

На рис. 3 надані функціональні схеми гібридного силового агрегату двовісних транс-

портних засобів HUMVEE Hybrid Electric Drive (HED), що досліджувалися на початку 2000-х років [19].

За даними [19] на рис. 4 побудовано гістограму відносного покращення (збільшення) у % деяких технічних характеристик АШ з гібридним силовим агрегатом відносно серійних.

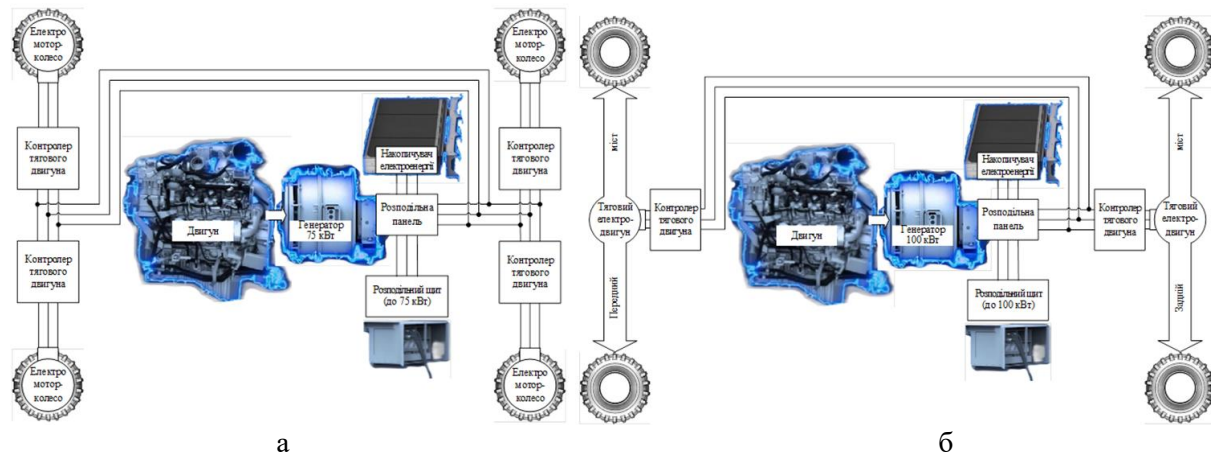


Рис. 3. Функціональні схеми гібридного силового агрегату двовісних АШ HUMVEE HED: а – з приводом на електромотор-колеса; б – з «осьовим» приводом (розроблено авторами за даними [19])

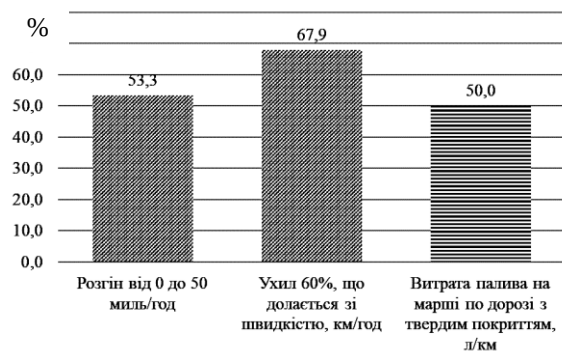


Рис. 4. Гістограма відносного покращення технічних характеристик АШ з гібридним силовим агрегатом (розроблено авторами за даними [19])

За підсумками досліджень [19] було відзначено, що під час виконання завдань за призначенням найбільший генератор, який зазвичай буксирують HUMVEE до 15 кВт (причіпна електростанція МЕР-804А масою до 2 т) [5]. Натомість HUMVEE HED, залежно від обраної конструкції, може постійно виробляти під час роботи на місці не менше 75 кВт електроенергії виконуючі функцію мобільного електричного генератора виключаючи потребу у застосуванні причіпної електростанції. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити витрати палива та збільшити швидкість руху та прохідність [5]. Однією з пропозицій за підсумком випробувань було, після вдосконалення, використовувати запропоновані складові гібридного силового агрегату HED як «змінний комплект» для стандартного HUMVEE для можливості модернізації легких тактичних транспортних засобів [19].

До того, крім визначених на гістограмі

(рис. 4) переваг, було встановлено, що під час стоянки кожний з HUMVEE HED, що випробувались мав можливість постачати електроенергію зовнішнім споживачам:

- від накопичувачів електроенергії – акумуляторних батарей (АКБ) до 10 кВт;
- від генератора, при працюючому двигуні до 75 кВт (максимально припустиме до 250 кВт) [19].

На теперішній час застосовують різні варіанти АШ ОБТ з гібридними силовими агрегатами. Для розробки раціональної функціональної схеми перспективного АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом розглянемо основні з них.

Схема гібридного силового агрегату з послідовним перетворенням енергії (рис. 5) застосована у важкому багатовісному автомобілі НЕМТТ А3 diesel-electric (колісна формула 8х8).

Дизельний двигун не має механічного зв'язку з колесами, а натомість приводить до руху великий електричний генератор, який, у свою чергу, забезпечує живлення електроенергію модуля кожної осі транспортного засобу та забезпечує накопичення запасу електроенергії. Кожний з чотирьох модулів осей транспортного засобу має перетворювач енергії та електродвигун, що приводить до руху колеса визначеної осі, а під час гальмування працює у режимі генератора [3, 11, 15].

Слід відзначити, що гібридний силовий агрегат послідовної схеми автомобілів НЕМТТ А3 diesel-electric (рис. 5), HUMVEE HED (рис. 3) тощо, забезпечує наступні режими руху АШ:

- тяговими електродвигунами, що живляться від генератора, якій приводиться в дію ДВЗ – рух у режимі часткових навантажень, сталого навантаження на постійній швидкості, тощо;
- тяговими електродвигунами, що живляться від генератора, якій приводиться в дію ДВЗ та від накопичувачів електроенергії

(НЕС) – рух з великими навантаженнями, під час руху угору, прискорення, тощо;

- тяговими електродвигунами, що живляться від НЕС – рух з місця та на малій швидкості у режимі економії палива, рух у «тихому» режимі під час прихованого переміщення тощо [3, 11, 15, 19].

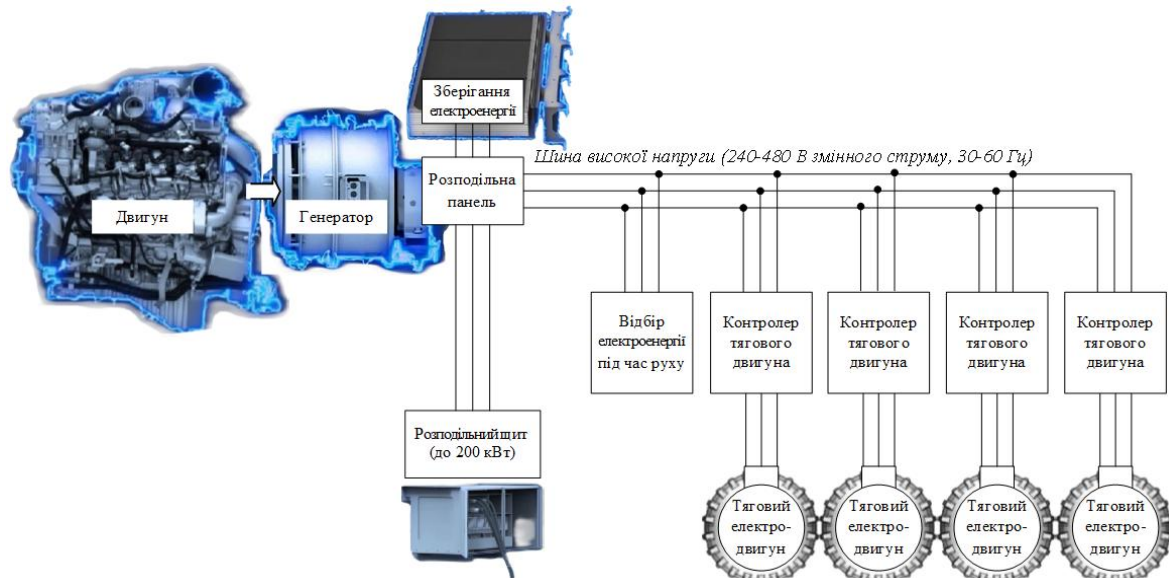


Рис. 5. Функціональна схема гібридного силового агрегату чотирьохвісних АШ (HEMTT A3 diesel-electric) (розроблено авторами за даними [15])

Гібридний силовий агрегат MTRV OBVP (колісна формула 6х6) виконаний по схемі з послідовно-паралельним перетворенням енергії (так званий гібридний синергетичний при-

від Hybrid Synergy Drive (HSD)) з подвійним потоком потужності, що може працювати у декількох режимах (рис. 6) [3, 13, 21–24].

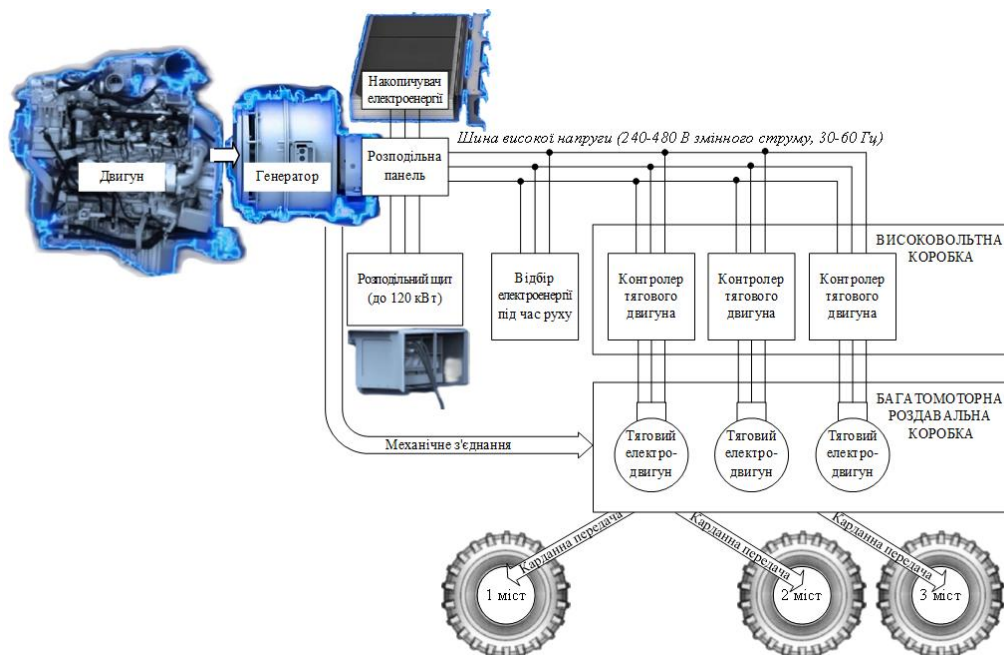


Рис. 6. Функціональна схема гібридного силового агрегату трьохвісних АШ (MTRV OBVP) (розроблено авторами за даними [13])

На відміну від розглянутого вище НЕМТТ АЗ diesel-electric, гібридний силовий агрегат MTVR OBVP зберігає механічний зв'язок від двигуна до коліс та, залежно від режиму руху, доповнює його електроенергією.

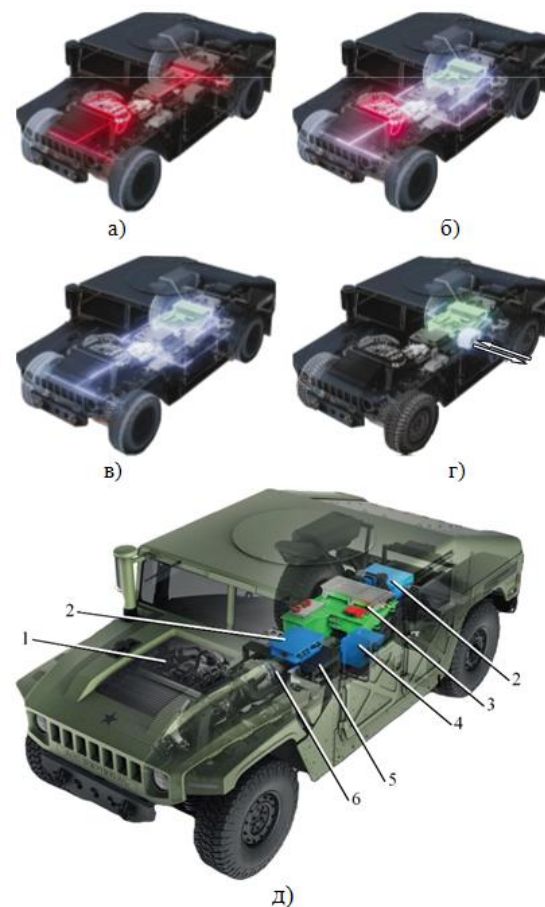
Трансмісія MTVR OBVP, крім генератора, має так звану багатомоторну роздавальну коробку (Multi-Motor Transfer Case) [13].

До багатомоторної роздавальної коробки крутний момент може підводиться механічним шляхом від двигуна транспортного засобу через генератор. Крім того, рух транспортного засобу може забезпечуватися трьома тяговими електродвигунами, які приєднані до багатомоторної роздавальної коробки. Залежно від режиму руху, тягові електродвигуни отримують електроенергію від генератора або від НЕЕ. Від багатомоторної роздавальної коробки крутний момент підводиться до коліс транспортного засобу складовими, що застосовані у MTVR зі «звичайним» силовим агрегатом [13].

Потужність до виходу з цього гібридного силового агрегату підводиться за двома потоками. Основна частина цього потоку потужності йде механічним шляхом, інша частина – електричним. Багатомоторна роздавальна коробка поєднує потік потужності який видає ДВЗ. Відомо, що ДВЗ, порівняно з електродвигунами, має мінімальний крутний момент на низьких обертах колінчастого валу двигуна. Тому, для забезпечення прискорення транспортного засобу при зрушенні з місця, подолання важких ділянок доріг, тощо, до потужності ДВЗ додається потужність тягових електродвигунів багатомоторної роздавальної коробки [3, 13].

Подібні розглянутій вище послідовно-паралельної схеми гібридного силового агрегату застосовані у сучасних легких військових транспортних засобах таких як eJLTV (Oshkosh Defense) [14], eISV (GM Defense LLC) [6, 8] та HUMVEE Charge (AM General LLC) [16]. Проте вони мають деякі особливості, а саме, це так звані гібридні електромобілі, що підключається (plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)) [14, 16, 21–24]. Крім наданих вище властивостей, ці транспортні засоби PHEV мають можливість, заряджати власний НЕЕ від зовнішнього джерела та певний час рухатися лише з його використанням.

Найбільш сучасною та досконалою є конструкція гібридного силового агрегату автомобіля HUMVEE Charge PHEV, яка наведена на рис. 7 [16].



1 – двигун транспортного засобу; 2 – перетворювачі напруги; 3 – НЕЕ; 4 – розподільний щит; 5 – роздавальна коробка; 6 – електромотор-генератор з коробкою перемикачів передач

Рис. 7. Двовісне АШ (HUMVEE Charge PHEV) з гібридним силовим агрегатом: а – рух з приводом від ДВЗ; б – рух з приводом від ДВЗ та від електромотор-генератора; в – рух з приводом від електромотор-генератора, що живиться від НЕЕ; г – стоянка на місці (забезпечення електроенергією); д – розташування складових гібридного силового агрегату (розроблено авторами за даними [16])

У ньому, на відміну від машин з «звичайним» силовим агрегатом, встановлені: коробка переключення передач, яка передбачає у своєму складі електромотор-генератор 6 з електромагнітною муфтою та додатково: перетворювачі напруги 2, накопичувачі електроенергії 3, розподільний щиток 4 та елементи електронного керування (блок керування, перемикачі, тощо) роботою гібридного силового агрегату. Інші елементи транспортного засобу (двигун, розподільна коробка, кардана, передача, мости, тощо) залишаються незмінними, як на HUMVEE зі «звичайним»

силовим агрегатом. У якості НЕЕ застосовується літій-іонні АКБ. Електромагнітна муфта за командою електронного керування, відповідно до режиму роботи, вмикає-вимикає електромотор-генератор. Це забезпечує у ввімкненому положенні муфти роботу електромотор-генератора як генератора або електродвигуна. У вимкненому положенні електромагнітної муфти генератор не працює – крутний момент силового агрегату проходить крізь нього.

До того ж АШ HUMVEE Charge PHEV під час руху дозволяє рекуперувати до НЕЕ не тільки енергію гальмування автомобіля, а також енергію руху підвіски [16, 21].

Гібридний силовий агрегат з паралельною двохпотоковою схемою передачі потужності автомобілів HUMVEE Charge, eJLTV, eISV, MTRV OBVP, тощо, забезпечує наступні режими руху:

– ДВЗ – рух у режимі часткових навантажень, сталого навантаження на постійній швидкості, тощо (рис. 7, а);

– ДВЗ та тяговим електродвигуном (електродвигунами), що живиться від генератора та від НЕЕ – рух з великими навантаженнями, під час руху вгору, прискорення, тощо (рис. 7, б);

– тяговим електродвигуном (електродвигунами), що живиться від НЕЕ – рух з місця та на малій швидкості, у режимі економії палива, рух у «тихому» режимі під час прихованого переміщення, тощо (рис. 7, в) [13, 14, 16, 21, 23].

Крім визначених режимів руху, надана схема силового агрегату HUMVEE Charge (та інших сучасних PHEV) дозволяє під час стоянки на місці бути джерелом електроенергії (рис. 7, г) за рахунок:

– НЕЕ (АКБ) ємністю 30 кВт/год;

– електромотор-генератора, що має потужність до 30 кВт (208 В змінного струму) при працюючому ДВЗ.

За потребою, НЕЕ HUMVEE Charge може бути заряджений від зовнішніх джерел (у тому числі й від власного мотор-генератора) електроенергії з використанням зарядного пристрою з трьома різними параметрами заряду.

Враховуючи наведене, на теперішній час, застосування накопичувачів електроенергії (АКБ, суперконденсаторів, тощо) та електричних машин типу електромотор-генераторів у АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом типу PHEV дозволяє виконувати завдання за призначенням та одночасно забезпечити переваги, які наведено у таблиці 1 [3, 5, 11, 19, 22, 23].

Таблиця 1. Можливі переваги АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом типу PHEV

№	Переваги	Пояснення
1	2	3
1.	Можливість простого рішення для забезпечення тривалості руху АШ	Підвищенням ємності (кількості) НЕЕ
2.	Забезпечення тривалої роботи додаткових систем АШ (зв'язку, систем що перешкоджають роботі БПЛА або знищують їх, тощо)	Під час руху АШ та на стоянці
3.	Можливість заряду та дозаряду НЕЕ АШ	1. Під час руху АШ через рекуперацію енергії. 2. Електричними зарядними станціями та генераторами (у тому числі власного АШ). 3. Нетрадиційними джерелами електроенергії (сонячні панелі, вітрові електростанції, тощо)
4.	Приховане переміщення АШ: - малошумний «тихий» рух; - зменшення помітності АШ у інфрачервоному діапазоні	Рух з використанням лише електричного приводу
5.	Швидка готовність до видачі електроенергії встановленого обсягу та якості зовнішнім споживачам від НЕЕ (у тому числі у режимі джерела безперебійного живлення та резервування)	Під час руху АШ та на стоянці, незалежно від роботи двигуна АШ
6.	Можливість тривалої видачі електроенергії встановленої якості зовнішнім споживачам від електромотор-генератора АШ	Під час роботи двигуна АШ
7.	Полегшене забезпечення керування АШ	У випадку використання як безпілотного транспортного засобу

Пропозиції щодо функціональної схеми перспективного АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом

Аналізуючи досвід останніх збройних конфліктів [1–5, 26], дослідження [8–13, 18–25], наданий вище матеріал та вимоги щодо пресування ЗАТЗП, забезпечення спеціального обладнання та обладнання аеродрому електроенергією [5, 9, 10] можна дійти до висновку, що безпосереднє застосування будь-якої з сучасних схем, наведених вище, не повною мірою дозволять використати їх потенціал для перспективного АШ ЗАТЗП. Просте «копіювання» з готових складових будь-якої з наданих схем може бути дуже коштовним. Тому, пропонується варіант функціональної схеми перспективного АШ ЗАТЗП з гібридним (дизель-електричним) силовим агрегатом типу PHEV, який дозволить модернізувати (створювати) з мінімальними витратами АШ ЗАТЗП, який має найбільшу кількість необхідних властивостей (рис. 8).

Це завдання може бути вирішено створенням нового або модернізацією (наприклад, під час капітального ремонту) АШ ЗАТЗП встановленням у його трансмісії електричної машини (мотор-генератора), яка під час руху забезпечить швидке пересування, а під час стоянки може бути застосована як джерело автономного електроживлення спеціального обладнання цього засобу [3, 10, 11, 18–24].

Для реалізації даної варіанту може бути обране АШ ЗАТЗП категорії N2G, наприклад, з колісною формулою бхб, що є на озброєнні ЗС України. Під час реалізації даного проекту з серійного автомобіля видаляються наступні елементи:

- роздавальна коробка;
- карданний вал приводу переднього моста;
- головна передача переднього моста.

В той же час, пропонується встановити в АШ інші складові, які розташовуються у визначених на функціональній схемі (рис. 8) місцях. Штриховкою на функціональній схемі позначені складові, які встановлюються, а саме:

- електромотор-генератор;
- дві електромагнітні муфти (ЕММ1, ЕММ2);
- блок керування;
- накопичувач електроенергії (АКБ);
- електромотор приводу переднього моста;
- розподільний щит;
- електричні дроти, перемикачі, тощо.

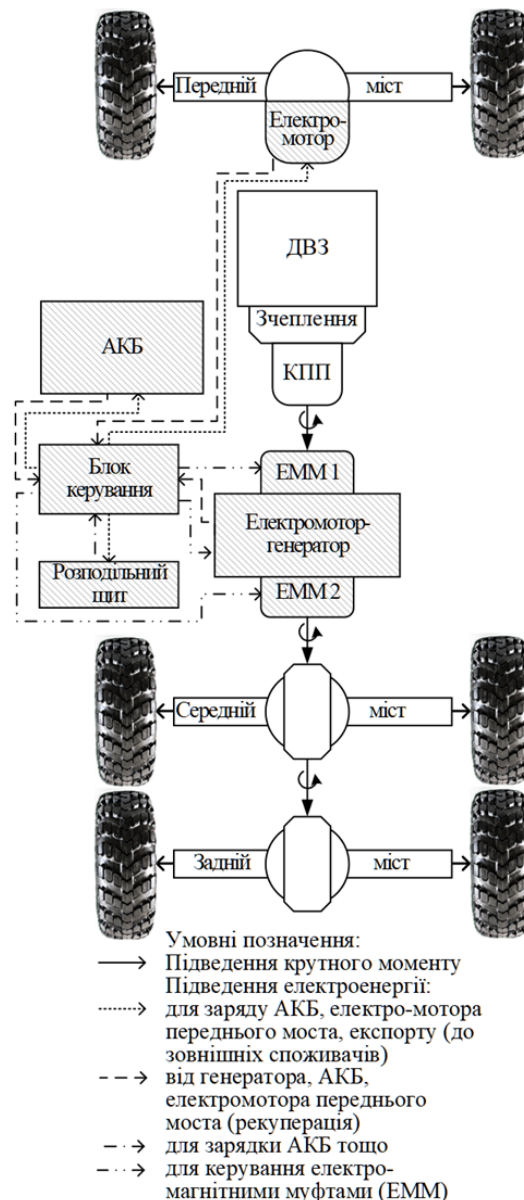


Рис. 8. Функціональна схема базового АШ з гібридним силовим агрегатом перспективного ЗАТЗП

Інші елементи модернізованого АШ з гібридним силовим агрегатом перспективного ЗАТЗП залишаються без змін. Слід звернути увагу, що у випадку модернізації АШ ЗАТЗП з бензиновим ДВЗ, для збільшення економії палива, під час виконання робіт, доцільно замінити його на дизельний [11, 14, 18].

Відповідно до схеми, яка запропонована, на місце розташування роздавальної коробки автомобіля пропонується встановити електромотор-генератор, який має в середині ротора вал, який вільно обертається, отримуючи рух від штатного карданного валу коробки перемикачів передач (КПП). Цей вал, залежно від режиму руху, може бути забло-

ваний (ввімкненням ЕММ1) або розблокований (вимкненням ЕММ1) з ротором електромотор-генератора. ЕММ2 має можливість поєднувати або роз'єднувати вал електромотор-генератора з штатним карданним валом приводів середнього та заднього моста. Блок керування виконує функції обчислення режиму роботи (швидкості руху, обертів ДВЗ, електродвигуна, залишку електроенергії у накопичувачі, тощо), координації та подачі керуючих сигналів (подачі електроживлення) на вмикання та перемикання складових гібридного силового агрегату [3, 10, 11, 19].

Реалізація наданої на рис. 8 схеми може, за рахунок виконання невеликого обсягу робіт, а саме встановленням електромотор-генератора визначеної потужності на місце роздавальної коробки (та інших складових, згідно схеми) модернізувати практично будь-

який автомобіль категорії N2G до рівня АШ ЗАТЗП з гібридним (дизель-електричним) силовим агрегатом. У той же час, надана схема потребує подальшого дослідження щодо визначення параметрів гібридного силового агрегату (електромотор-генератора, блока керування, накопичувача електроенергії, електромотора приводу переднього моста) та узгодження відповідності його характеристик з існуючим АШ ЗАТЗП. Також, з врахуванням специфіки роботи ЗАТЗП, потребується уточнення характеристик (або можливості відмови від встановлення) електромотора приводу переднього моста, що може суттєво спростити модернізацію.

Запропонований варіант АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом (рис. 8) може забезпечити переваги, які були надані у таблиці 1 та режими руху, які надані у таблиці 2.

Таблиця 2. Режими руху АШ ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом типу PHEV

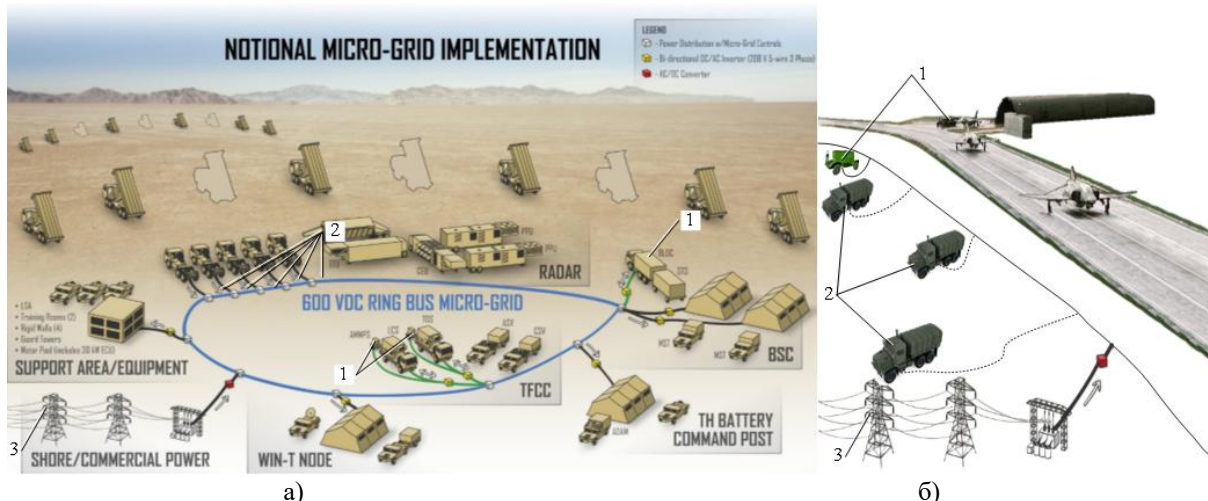
№	Режим руху	Використовується	Витрачається
1.	Часткових та сталих навантажень на постійній швидкості	ДВЗ	Паливо
2.	По дорозі з вдосконаленим покриттям з великими навантаженням (руху угору, прискорення, тощо)	ДВЗ та електромотор-генератор	Паливо та електрична енергія НЕЕ
3.	По бездоріжжю, дорозі зі слизьким покриттям, з великими навантаженнями	ДВЗ, електромотор-генератор та електромотор приводу переднього моста	Паливо та електрична енергія НЕЕ
4.	Початок руху, з малою швидкістю у режимі економії палива	Електромотор-генератор	Електрична енергія НЕЕ
5.	Підчас прихованого переміщення («тихий» режим)	Електромотор-генератор та електромотор приводу переднього моста	Електрична енергія НЕЕ

Розвиток конструкції та поширення використання військових АШ з гібридним силовим агрегатом сприяє наступному кроку – створенню та подальшому розвитку технологій, щодо забезпечення електроенергією тактичних угруповань [3]. Це так звана безпечна передова тактична мобільна енергія (Secure Tactical Advanced Mobile Power (STAMP)) прикладом якої є високомобільна, кіберзахищена та легка мікромережа, яка зараз розробляється у збройних силах США (рис. 9, а). Концепція цієї мікромережі передбачає об'єднання кількох джерел живлення для досягнення оптимальної потужності, покращення розподілу електроенергії, її зберігання, моніторингу та обслуговування [3].

У складі засобів аеродромно-технічного обслуговування є засоби буксирування, рухомі засоби мийки та спеціальної обробки

(рис. 1), які застосовуються за призначенням обмежений час [12]. Тому модернізація встановленням гібридних силових агрегатів в АШ вказаних засобів може дозволити, у час коли вони не використовуються за основним призначенням, облаштувати з їх використанням мікро-мережі типу STAMP для забезпечення потреб у електроенергії для аеродромно-технічного забезпечення польотів в умовах розосередження поза межами обладнаних аеродромів та авіабаз. Варіант можливого облаштування такої мережі наведено на рис. 9, б).

Крім вказаного, слід відзначити, що модернізація всіх АШ ЗАТЗП встановленням гібридного силового агрегату може дозволити облаштовувати єдину систему забезпечення електроенергією для наземного забезпечення польотів, зокрема в умовах використання польових аеродромів.



1 – штатні засоби забезпечення електроенергією; 2 – АШ з гібридним силовим агрегатом; 3 – промислова електромережа

Рис. 9. Приклад облаштування мікромережі STAMP з використанням АШ з гібридним силовим агрегатом: а – забезпечення електроенергією тактичних угруповань за даними [3]; б – забезпечення електроенергією під час робіт аеродромно-технічного забезпечення польотів (розроблено авторами за даними [16])

Висновки

Таким чином, проведено аналіз існуючих конструкцій військових автомобілів з гібридним силовим агрегатом, а також здійснено теоретичне обґрунтування варіанта модернізації автомобільного шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів встановленням гібридного силового агрегату за умовою забезпечення електричною енергією роботи власного спеціального обладнання та обладнання аеродрому.

Результати проведених досліджень можуть дозволити з малим обсягом робіт, а саме встановленням електромотор-генератора визначеної потужності на місце роздавальної коробки (та інших складових згідно схеми) модернізувати, з урахуванням раціонального забезпечення виконання завдання за призначенням, практично будь-який автомобіль категорії N2G до рівня АШ ЗАТЗП з гібридним (дизель-електричним) силовим агрегатом.

Отримала подальшого розвитку функціональна схема автомобільного шасі з гібридним силовим агрегатом.

Застосування гібридного дизель-електричного силового агрегату в автомобільному шасі засобу аеродромно-технічного забезпечення польотів надає можливість:

- забезпечити швидке пересування при одночасному збільшенні автономного виробництва електричної енергії;
- зменшити витрати палива та адаптувати режим руху автомобільних шасі до умов

застосування;

– розширити функціональні можливості з забезпечення електричною енергією роботи складових автомобільного шасі, спеціального обладнання та зовнішніх споживачів у місці виконання завдання за призначенням.

Потребує подальшого дослідження:

- визначення параметрів гібридного силового агрегату (електромотор-генератора, блока керування, накопичувача електроенергії, електромотора приводу переднього моста);
- розробка додаткових заходів захисту електричних компонентів гібридного силового агрегату від впливу несприятливих чинників польових умов пересування та кліматичних умов;
- забезпечення найбільш економічних режимів роботи ДВЗ АШ з гібридним силовим агрегатом під час виробництва електроенергії;
- узгодження відповідності характеристик АШ з гібридним силовим агрегатом з існуючим АШ ЗАТЗП, в тому числі за рахунок збільшення об'єму паливних баків;
- розробка додаткових організаційних та технічних заходів відстеження та підтримання технічного стану приводного двигуна внутрішнього згоряння АШ.

Використання наданого варіанта автомобільного шасі ЗАТЗП з гібридним силовим агрегатом надає можливість у подальшому розробити комплекти для модернізації будь-яких автомобілів до рівня PHEV під час проведення капітального або середнього ремонту.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

- Зброя російсько-української війни 2022 – 2023 років: Довідник-каталог основних зразків озброєння та військової техніки які застосовувалися протиборчими сторонами під час відсічі широкомасштабного вторгнення РФ в Україну (24.02.2022 – 30.06.2023) / МО України, Апарат Головнокомандувача ЗС України, ГШ ЗС України, Центр досліджень воєнної історії ЗС України. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2023. – 243 с.
- Воєнно-історичний опис російсько-української війни: Вип. 23: січень 2024 року / МО України, Апарат ГК ЗС України, ГШ ЗС України та Центр досліджень воєнної історії ЗС України. – Київ, 2024. – 205 с.
- Powering the U.S. Army of the Future. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. web site. URL: <https://doi.org/10.17226/26052/> (accessed 20.03.2025).
- Заблоцький В., Лапаєв Ю. Дрони як зброя: стан і перспективи ударних безпілотників для Збройних Сил України. Defense Express: web site. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/droni_jak_zbroja_stan_i_perspektivi_udarnih_bezpilotnikov_dlja_zsu-4565.html/ (accessed 20.03.2025).
- Рогозін І.В., Новічонок С.М., Леоненко О.М., Ісаєв А.С. Напрямок сумісного розвитку військових транспортних засобів та пересувних джерел електричної енергії. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2024. № 2(80). С. 144-152. <https://doi.org/10.30748/zhups.2024.80.19>.
- Amos C. Fox. Contested Logistics: A Primer. Association of the United States Army (AUSA). Landpower essay. № 24-1, February 2024. web site. URL: <https://www.ausea.org/file/114395/download?token=BcLoa6dX/> (accessed 20.03.2025).
- By Maj. Jon Michael King. Contested Logistics Environment Defined. Army Sustainment. Winter, 2024. P. 46-49. web site. URL: <https://asu.army.mil/alog/currentissue.pdf>.
- Megan Gully. Army focuses on contested logistics – a threat to enemy. U.S. Army. web site. URL: https://www.army.mil/article/265428/army_focuses_on_contested_logistics_a_threat_to_enemy/ (accessed 20.03.2025).
- Лагунін Г.І., Лисенко В.М. Шляхи забезпечення електромагнітної сумісності споживачів електричної енергії в умовах мирного часу та при веденні бойових дій. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2016. № 2(47). С. 151-154.
- Lahutin H.I., Malysh O.M. Modern problems of energy supply for the combat operations. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2016. № 4 (49). С. 118-121.
- Рогозін І.В., Новічонок С.М., Гнатів А.В., Рогозіна А.І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів. Автомобіль і Електроніка. Сучасні технології. 2018. Вип. 13 С. 5-12. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.13.0.5>.
- Про затвердження Правил аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації України. Наказ МО України від 24.12.2015 р. № 761. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0130-16#Text>.
- Oshkosh Defense Vehicle Platforms. Oshkosh Defense: web site. URL: <https://oshkoshdefense.com/vehicles/> (accessed 20.03.2025).
- Oshkosh Defense unveils eJLTV hybrid-electric Joint Light Tactical Vehicle JLTV. Defense News January 2022 Global Security army industry. Army Recognition Group : web site. URL: https://armyrecognition.com/defense_news_january_2022_global_security_army_industry/oshkosh_defense_unveils_ejltv_hybrid-electric_joint_light_tactical_vehicle_jltv.html/ (accessed 20.03.2025).
- Heavy expanded mobility tactical truck HEMTT A3 diesel-electric. Oshkosh Corporation: web site. URL: https://tanknutdave.com/wp-content/uploads/2015/02/HEMTT_A3_SS_6-13-11.pdf/ (accessed 20.03.2025).
- VEHICLES + CHASSIS. AM General LLC: web site. URL: <https://www.amgeneral.com/what-we-do/vehicles-chassis/> (accessed 20.03.2025).
- Compact, Lightweight, High Efficiency Rotary Engine for Generator, APU, and Range-extended Electric Vehicles, Shkolnik, et al. Proceedings of the 2018 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium: web site. URL: https://assets-global.website-files.com/5f6086e9bbabd41a20f2984/5f9accc0f3f8f455bebc45f3_94%20Shkolnik%2C%20Alexander_final%20paper.pdf / (accessed 20.03.2025).
- Борових С.І., Новічонок С.М., Рогозін І.В., Терентьєва І.В. Перспективна схема побудови засобу рухомості аеродромного пересувного електроагрегату. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2009. № 2(2). С. 41-44.
- Plug-in Hybrid Electric Vehicles (HED) the HUMVEE example. Defense Update: web site. URL: https://defense-update.com/20060520_feature-hed-humvee.html/ (accessed 20.03.2025).
- Рогозін І.В., Новічонок С.М. Функціональна схема пересувної майстерні відновлення засо-

- бів транспорту на базі автомобільного шасі з гібридним силовим агрегатом. Автомобіль і електроніка. сучасні технології: IX міжнародна наук.-техн. інтернет-конф. - Х.: ХНАДУ, 2024. - С. 197-199.
21. Смирнов О.П. Науково-технічні основи підвищення ефективності експлуатації гібридних транспортних засобів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2016. – 426 с.
 22. Tamir Eshel. RENK Unveils ATREX Hybrid Transmission System. A Pathway for Future Combat Vehicle Propulsion. Defense Update. URL: https://defense-update.com/20240617_atrex-hybrid-transmission.html (accessed 20.03.2025).
 23. Tactical Hybridization. GM Defense: web site. URL: https://www.gmdefensellc.com/content/dam/company/gm-defense/docs/ausa/2022/GMD_Tactical_Hybrid.pdf/ (accessed 20.03.2025).
 24. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатов А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
 25. Podrigalo M., Klets D., Yatsenko K. etc. Probabilistic Method for Assessing the Stability of Multi-Axle Vehicles When Braking. SAE Technical Paper 2019-01-2146, 2019. P. 1–6. doi:10.4271/2019-01-2146.
 26. Dan Flynn, Alexandra Zavis. Red Sea attacks. Reuters. URL: <https://www.reuters.com/graphics/ISRAEL-PALESTINIANS/SHIPPING-ARMS/lgvdnngyvo/> (accessed 20.03.2025).

Рогозін Ігор Віталійович¹, к.т.н., с.н.с, доцент,
e-mail: iv_r@ukr.net, тел. +38 066-915-91-67,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-6705>

Новічонок Сергій Михайлович¹, к.т.н., доцент,
провідний науковий співробітник
e-mail: newhobu4ohok@gmail.com,
тел. +38 067-728-17-61,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1269-5797>

Нечаус Андрій Олександрович², к.т.н., доцент,
доцент кафедри автомобільної електроніки,
e-mail: a.nechaus@gmail.com,
тел. +38 067-777-02-24,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8833-0802>

Ісаєв Антон Сергійович³, магістр, системний
архітектор відділу розробки та впровадження
програмного забезпечення,
e-mail: totoshko88@gmail.com,
тел. +38 098-490-78-10,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6148-5224>

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 61023, Україна, м. Харків, вул. Сумська, 77/79.

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

³ТОВ "ЕПАМ ДІДЖИТАЛ", 61003, Україна, м. Харків, Слюсарний провулок, 1.

Ways to improve the chassis of an airfield flight support vehicle by installing a hybrid power unit

Abstract. Problem. The constantly changing nature of modern combat operations may create a need to increase the number and intensity of flight support operations. To ensure the reliable execution of assigned tasks, the automobile chassis of airfield flight support vehicles must meet the following requirements: Reduction of the time required for combat support operations (transportation of personnel and cargo, execution of special operations, etc.); Increased movement speed of the automobile chassis to reduce the likelihood of being targeted by precision-guided weapons; Dispersal and camouflage capabilities; Enhanced operational capabilities of airfield flight support vehicles; The ability to continuously supply power to equipment required for flight support operations. One way to address this challenge is to develop new or upgrade existing airfield flight support vehicles during major overhauls by integrating an electric machine (motor-generator) into the transmission of the automobile chassis. This motor-generator would enable rapid movement during operation and serve as an autonomous power source for specialized equipment while stationary. Thus, there is a growing need for the improvement and development of airfield flight support vehicles and their automobile chassis **Goal.** The goal of the article is to develop a rational functional scheme and determine the main characteristics of a promising automobile chassis with a hybrid power unit for an airfield flight support vehicle. **Methodology.** To achieve the goal of the article, the following tasks must be completed: Analyze existing designs of military vehicles with hybrid power units and select the most rational option; Develop a functional scheme for a promising automobile chassis of an airfield flight support vehicle with a hybrid power unit; Determine the main parameters of the hybrid power unit for the prospective automobile chassis of an airfield flight support vehicle. **The results.** The results of the conducted research may allow, with minimal effort, specifically by installing an electromotor-generator of a specified power in place of the distribution box (and other components according to the scheme), to upgrade, taking into account the rational provision for task execution, practically any vehicle of category N₂G to the level of an automobile chassis for an airfield flight support vehicle with a hybrid (diesel-electric) power unit. The functional scheme of the automobile chassis with a hybrid power unit has been further developed. **Originality.** An analysis of existing designs of military vehicles with hybrid power units has been conducted, and a theoretical justification for the option of upgrading the automobile chassis of an airfield flight support vehicle has been carried out. This involves installing a hybrid power unit to ensure the supply of electrical energy for the operation of the vehicle's own specialized equipment and airfield equipment. **Practical value.** The use of

the proposed automobile chassis of an airfield flight support vehicle with a hybrid power unit enables the future development of upgrade kits for converting any vehicle to the PHEV level during major or mid-life repairs.

Key words: automobile chassis, hybrid power unit, power source, electromotor-generator, airfield flight support vehicle, energy storage unit

Rohozin Ihor¹, Ph.D., Senior Researcher, Assoc. Prof., e-mail: iv_r@ukr.net, tel. +38 066-915-91-67, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-6705>

Novichonok Serhii¹, Ph.D., Assoc. Prof., Lead Researcher, e-mail: newhobu4ohok@gmail.com, тел. +38 067-728-17-61, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1269-5797>

Nechaus Andrii², Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 067-777-0224, a.nehaus@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8833-0802>

Isaiev Anton³, Master, Systems Architect of Department of Software Development and Implementation, e-mail: toto88@gmail.com, tel. +38 098-490-78-10, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6148-5224>

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska str., Kharkiv, 61023, Ukraine.

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

³"EPAM DIGITAL" LLC, 1, Slyusarnyy lane, Kharkiv, 61003, Ukraine.