

В.В. Глебов¹, Ю.М. Гужва¹, В.М. Корольов², С.В. Стрімовський¹

¹ Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», Харків

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ НА ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ ТА КОЛІСНИХ МАШИНАХ

Розглянуто питання ефективності застосування гібридної силової установки на військових машинах. Проведено аналіз закордонних зразків військових гусеничних і колісних машин з впровадженою гібридною силовою установкою та їх технічних характеристик. Виконано вибір тягового електроустаткування для побудови гібридної силової установки для танка та бронетранспортера. Здійснено дослідження компоновання складових гібридної силової установки у моторно-трансмісійному відділенні і корпусі танка Т-72, важкої бойової машини піхоти БМТ-72 та бронетранспортера БТР-4МВ1. Визначено технічні характеристики робітників БМТ-72 та БТР-4МВ1 при впровадженні у них гібридної силової установки.

Ключові слова: бронетранспортер, гібридна силова установка, електромеханічна передача, накопичувач електричної енергії, тягова Li-ion акумуляторна батарея, тяговий електродвигун та генератор, танк.

Постановка проблеми

Застосування гібридної силової установки (ГСУ), що складається з дизель-генератора, електромеханічного привода коліс та накопичувача електричної енергії (НЕЕ), на транспортних машинах має ряд переваг та недоліків [1]. До переваг відносяться:

- економія палива за рахунок підтримки роботи дизельного двигуна у режимі мінімальної питомої витрати палива та використання під час розгону машини її рекуперованої кінетичної енергії, яка зберігається у НЕЕ при кожному виконанні гальмування;

- плавність розгону та повороту гусеничних машин завдяки застосуванню тягових електро-двигунів (ТЕД);

- плавність розгону, краща прохідність та маневреність колісних машин для схем побудови ГСУ з передачею потужності від кожного ТЕД на кожне колесо окремо;

- легкість автоматизації керування рухом машини для полегшення керування водію та реалізації дистанційного керування;

- можливість швидше почати рух машини на НЕЕ без витрати часу на передпускову підготовку, виконання пуску дизельного двигуна та його прогріву особливо у холодну пору року;

- рух на НЕЕ з більш низьким рівнем шуму та тепловипромінюванням у порівнянні з працюючим дизельним двигуном;

- можливість використати ГСУ як дизель-електричну станцію потужністю до 300 кВт в залежності від виду зразка військової машини.

Недоліками застосування ГСУ на транспортних машинах є:

- збільшення маси та габаритних розмірів машини у порівнянні з аналогами із традиційною силовою установкою;

- пожежонебезпека та вибухонебезпечність тягових Li-ion акумуляторних батарей (ТАБ) при їх пробиванні або перегріванні. Цей вид акумуляторів найчастіше всього застосовується в якості НЕЕ;

- велика вартість компонентів тягового електропривода. Це веде до збільшення вартості транспортної машини у 1,5-2 рази у порівнянні з аналогічною машиною із традиційною силовою установкою;

- ємність тягових Li-ion акумуляторних батарей суттєво зменшується через 7-10 років експлуатації. В результаті цього погіршуються характеристики роботи ГСУ. Для забезпечення ефективної роботи ГСУ необхідно виконувати заміну тягових Li-ion акумуляторних батарей.

Таким чином, в результаті розглядання переваг та недоліків застосування ГСУ на транспортних машинах виникає питання щодо ефективності застосування ГСУ на військових гусеничних та колісних машинах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Насьогодні ГСУ вже впроваджена на зразках військових гусеничних машин Marder (Німеччина), M113, FCS-T (США), SEP-T (Швейцарія) та GCV (Англія) [2]-[5]. На цих машинах ГСУ виконана за послідовною схемою побудови. Ця схема забезпечує індивідуальне підведення потужності до кожного

ведучого колеса й індивідуальне керування нею, дозволяє отримати найкращі показники рухливості гусеничної машини. Також послідовна схема побудови ГСУ має найбільш просту конструкцію механічних передач між ТЕД і ведучими колесами та поліпшує компоновальні можливості військової гусеничної машини завдяки відсутності механічного зв'язку між колінчастим валом дизельного двигуна та ведучими колесами.

З джерела [2] відомо, що БМП «Marder» з ГСУ важила 29,5 т, мала максимальну швидкість 72 км/год. В ній були встановлені ТЕГ потужністю 420 кВт та два ТЕД загальною електричною потужністю 700 кВт. Таким чином акумулятори додавали 280 кВт електричної енергії.

Американська компанія FMC розробила ГСУ для гусеничного бронетранспортера M113 [3]. В ньому встановлювались ТЕГ потужністю 180 кВт та два ТЕД загальною потужністю 360 кВт. Машина важила 20 т.

Шведською компанією BAE Systems Hagglund та американською компанією United Defense розроблені бойові гусеничні платформи з ГСУ SEP-T та FCS-T приблизно однакових характеристик [4]. Ці платформи важать 18 т. На них можуть встановлюватись бойові модулі або інше обладнання вагою до 8 т. Максимальна швидкість гусеничних платформ - 80 км/год. При русі від акумуляторів платформа зможе проїхати до 5 км.

Британська компанія BAE Systems разом з компанією QinetiQ та американською компанією Northrop Grumman розробили БМП Ground Combat Vehicle (GCV) з ГСУ [5]. GCV важить 63,5 т. В ній застосована ГСУ британської компанії QinetiQ. Потужність електропривода дорівнює 1100 кВт. Максимальна швидкість GCV дорівнює 70 км/год. Машина розганяється до швидкості 30 км/год, за 7,8 секунди. Завдяки застосуванню ТЕД машина має високий крутний момент на низьких обертах, може плавно змінювати швидкість та працює значно тихіше при русі на акумуляторних батареях у порівнянні з працюючим дизельним двигуном.

Застосування ГСУ на БМП GCV дозволило зекономити до 20% палива. На холостому ході ГСУ компанії QinetiQ витрачає 17,5 літрів палива за годину. Звичайна силова установка на військовій машині 65 т витрачає 37-40 літрів палива у годину. Цей параметр для військових машин дуже важливий оскільки вони довгий час можуть застосовуватись на бойовому чергуванні у нерухомому стані. При цьому на військовій машині повинен працювати двигун або енергоагрегат для приведення в дію усіх бортових електронних систем.

На військові колісні машини ГСУ почали впроваджувати у 1994 році. Лабораторія PEI Industry Ltd та

науково-дослідний центр бронетанкового управління США TARDEC розробили та впровадили ГСУ за послідовною схемою на дослідному зразку багатоцільового бронеавтомобіля HMMWV XM 1124 [6]. На машині був встановлений дизельний двигун потужністю 100 кВт, що приводив у дію ТЕГ номінальною потужністю 85 кВт і піковою потужністю 100 кВт, та два ТЕД номінальною потужністю 55 кВт і піковою потужністю 100 кВт кожний, що приєднувались до переднього і заднього мостів. В якості накопичувача електричної енергії використовувались свинцеві ТАБ. Загальна напруга ТАБ дорівнювалась 288 В, а максимальний струм 800 А.

Маса бронеавтомобіля HMMWV XM 1124 з ГСУ була 5,2 т і практично відповідала масі базовій моделі HMMWV 1113. Він розганявся до швидкості 80 км/год. за 7 с що у два рази швидше у порівнянні з базовою моделлю, але мав невеликий запас ходу на ТАБ і економію палива до 6 %. Це пов'язано з тим, що свинцеві ТАБ мають малу щільність накопичування енергії та смінь. Пізніше в результаті застосування Li-ion ТАБ економія палива у режимі руху міського циклу досягала 30%, а при русі на бездоріжжі до 16%. Запас ходу на ТАБ досягав до 10 км.

Подібна схема побудови ГСУ застосовувалась науково-дослідним центром TARDEC при створенні дослідного зразка ULV (ultra light vehicle – понадлегка машина) у 2011 році [7]. За інформацією інженерів центру TARDEC така побудова силової установки, крім забезпечення високих тягових характеристик машини, підвищує живучість платформи при підриві на міні, оскільки відсутній карданний вал та інші елементи трансмісії, що розміщуються знизу машини за традиційною схемою. Загальна маса ULV складає 6,3 т.

У 2002 році американська компанія General Dynamics Land Systems разом з німецькою фірмою Magnet Motor GmbH виготовили дослідний зразок розвідувального бронеавтомобіля Shadow RST-V [8] з ГСУ виконаною за послідовною схемою з чотирма ТЕД на кожне колесо. Фірма Magnet Motor GmbH розробила конструкцію колеса з вмонтованими ТЕД і планетарною передачею. Завдяки такому рішення внутрішній об'єм у Shadow RST-V такий самий, як у HMMWV 1113, а зовнішні габаритні розміри менші.

Машина Shadow RST-V має максимальну швидкість 112 км/год. На 95 літрах палива може проїхати 758 км, що фактично у два рази більше у порівнянні з бронеавтомобілем HMMWV 1113. В ній встановлений дизельний двигун фірми Detroit Diesel об'ємом 2,5 літра, потужністю 114 кВт, що приводить в дію ТЕГ потужністю 110 кВт. У кожне колесо Shadow RST-V вбудований ТЕД максимальною потужністю 50 кВт. Сумарна потужність чотирьох ТЕД перевищує

потужність, що виробляє ТЕГ. Тому додаткову електричну енергію ТЕД отримують від Li-ion ТАБ ємністю 20 кВт·год. Пікова потужність ТАБ дорівнює 80 кВт. Запас ходу Shadow RST-V на ТАБ досягає 32 км.

Також у 2002 році компанією General Dynamics Land Systems була представлена на виставці у Вашингтоні броньована повноприводна колісна платформа АНЕД з ГСУ колісною формулою 8x8 [9].

АНЕД призначена для створення на її базі броньованих бойових та інженерних машин. Вона має масу 18 т. В ній електричний привод також розроблений фірмою Magnet Motor GmbH. ТЕГ виробляє електричну потужність 200 кВт і ТАБ забезпечують 200 кВт електричної потужності. Таким чином потужність привода складає 400 кВт. ТЕД також вмонтовані в колеса.

Крім компанії General Dynamics Land Systems, броньовані колісні платформи з ГСУ були розроблені шведською компанією BAE Systems Hagglund, французькою компанією Panhard разом з німецькою фірмою Rheinmetall Land systeme та американською компанією United Defense. Вони виконувались з колісною формулою 6x6 або 8x8.

У 2005 році американська компанія Oshkosh Truck виготовила тактичну вантажівку технічної підтримки НЕМТТ-А3 з ГСУ [10]. За інформацією інженерів компанії Oshkosh Truck впровадження ГСУ у виробі НЕМТТ-А3 дозволило зменшити витрати палива на 20% у порівнянні з виробом НЕМТТ-А2. В результаті цього збільшився запас ходу до 773 км. У попередньої моделі НЕМТТ-А2 з дизельним двигуном запас ходу 644 км.

ГСУ на виробі НЕМТТ-А3 має у своєму складі дизельний двигун 450 к.с., що приводить в дію ТЕГ потужністю 300 кВт, чотири ТЕД приєднані до мостів і передають потужність на кожну вісь окремо. НEE побудований на електрохімічних конденсаторах фірми Maxwell. Він має загальну ємність 1,5 МДж. Запас ходу на електрохімічних конденсаторах невеликий, всього до 400 м. Але ці конденсатори ефективно працюють у складі ГСУ і підтримують роботу дизельного двигуна у економічному режимі. Також ГСУ можна використовувати для живлення зовнішніх споживачів електричної енергії. Її потужності достатньо для живлення невеликого городка у польових умовах.

У 2013 році ТОВ «Військово-промислова компанія» при виконанні дослідно-конструкторської роботи шифр «Крымск» [11] розробила та випробувала броньовану колісну платформу з ГСУ на базі шасі БТР-90 «Росток». Броньована колісна платформа «Крымск» важить 22 т. В ній встановлений дизельний двигун ЯМЗ-650.10 потужністю 360 к.с., ТЕГ потужністю 220 кВт, НEE 80 кВт і вісім ТЕД 35 кВт, що передають потужність на кожне колесо окремо.

В результаті випробувань було отримано, що броньована колісна платформа «Крымск» розганяється до швидкості 80 км/год. за 33 секунди. Максимальна швидкість платформи 97 км/год. Запас ходу 940 км при швидкості 40 км/год. Це приблизно у половину більше, ніж у прототипу БТР-90 «Росток». Радіус розвороту – 3,8 м. Також платформа «Крымск» долає підйом 30° та вертикальну стінку висотою 0,5 м.

За інформацією фахівців ТОВ «Військово-промислова компанія», платформа «Крымск» – фактично готова дистанційно керована платформа і може використовуватись для створення бойових наземних роботизованих комплексів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що у відкритих джерелах інформації наведено багато позитивних результатів впровадження ГСУ на військових колісних та гусеничних машинах. Але серед розглянутих військових машин з впровадженою ГСУ тільки НММВВ ХМ 1124, Shadow RST-V та НЕМТТ-А3 виготовлені невеликими партіями. Інших військових машин з впровадженою ГСУ виготовлені тільки дослідні зразки. Тому при проектуванні військової машини з ГСУ виникає питання визначення її технічних характеристик.

Метою роботи є дослідження компонування ГСУ на військових гусеничних і колісних машинах та визначення їх технічних характеристик при впровадженні ГСУ.

Виклад основного матеріалу

Дослідження компонування ГСУ виконувалось у моторно-трансмісійному відділенні і корпусі танка Т-72, важкої бойової машини піхоти БМТ-72 та бронетранспортера БТР-4МВ1. Модель танка Т-72 була обрана з метою розглядання можливості виконання його модернізації. Оскільки ці танки ще знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, а запасні частини для силової установки танка Т-72 в Україні не виготовляються.

Дослідний зразок виробу БМТ-72 був розроблений і виготовлений ДП «ХКБМ» у 2002 році на базі танка Т-72 [12].

Компонування ГСУ на výroбах Т-72 і БМТ-72.

Основними складовими ГСУ для шасі танка є:

- дизельний двигун з обслуговуючими системами;
- тяговий генератор (один або два) в залежності від обраної моделі дизельного двигуна;
- два ТЕД з інверторами;
- дві бортові коробки передач (БКП) з механізмами розподілу та двома бортовими редукторами (БР);
- система охолодження тягового електроустаткування;
- система керування ГСУ.

Структура побудови ГСУ для шасі танка представлена на рисунку 1.

Виходячи з розрахунку 72АГК.007РР-01 [13], виконаного у ДП «ХКБМ», для танка масою 50 т

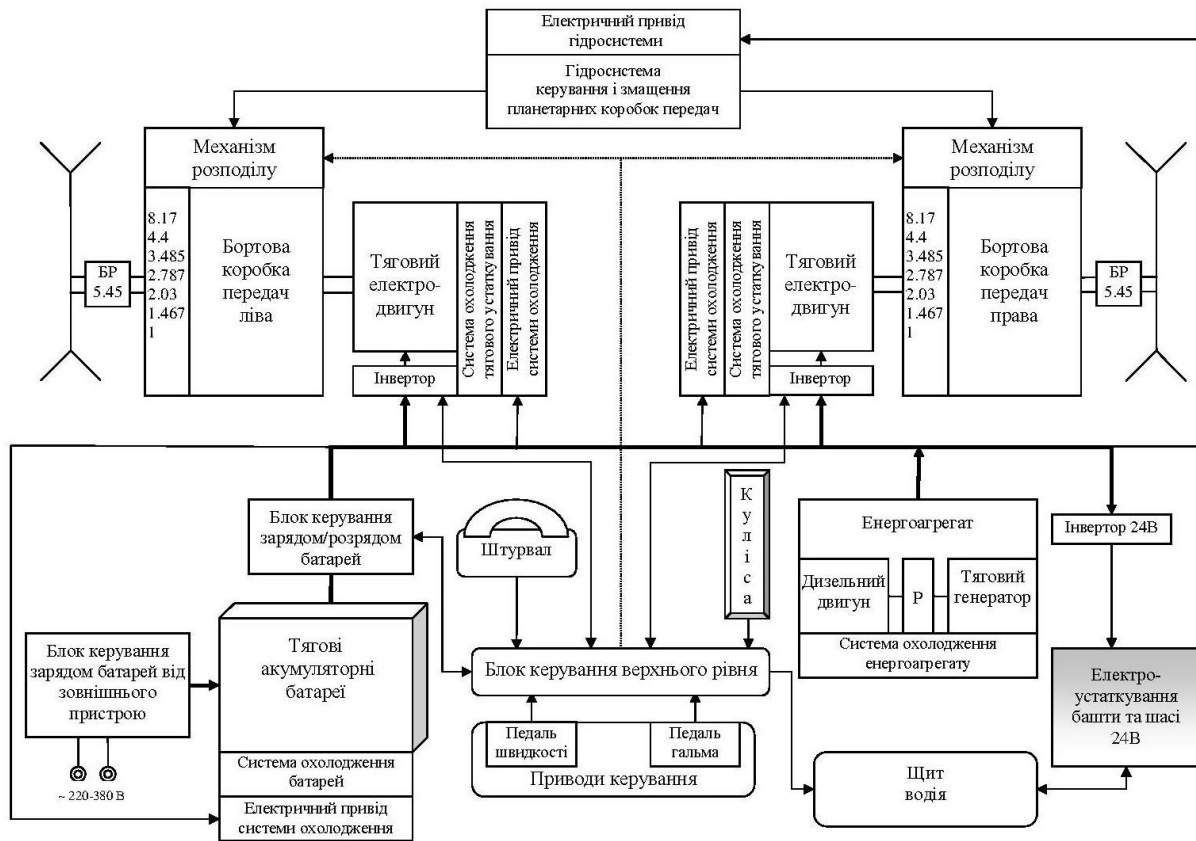


Рис. 1. Структурна схема ГСУ для шасі танка

потрібен ТЕД механічною потужністю не менше 276 кВт при частоті обертання 3318 об/хв для забезпечення максимальної швидкості руху 70 км/год. Максимальна величина крутного моменту ТЕД повинна бути не менше 1149 Н·м при частоті обертання 1936 об/хв для забезпечення подолання підйому 30°.

Згідно з цими вимогами був обраний ТЕД SUMO HD HV3500-9P компанії DANA (Канада). Цей ТЕД рідинного охолодження і має діапазон робочих температур навколишнього середовища від мінус 40°C до плюс 65°C. Номінальна потужність ТЕД SUMO HD HV3500-9P 260 кВт, пікова потужність 350 кВт, номінальний крутний момент 1830 Н·м, піковий крутний момент 3500 Н·м, максимальна частота обертання 3400 хв-1 [14].

Для роботи ТЕД SUMO HD HV3500-9P використовується інвертор CO300 також виробництва компанії DANA.

Модель ТЕГ обиралась в залежності від застосованого дизельного двигуна для компоновання ГСУ. Це могли бути EMRAX 348 компанії Enstroj (Словенія) або SUMO HP HV900-3P (LSG130 generator) компанії DANA (Канада).

В якості НЕЕ в ГСУ застосовуються Li-ion ТАБ рідинного охолодження компанії WB Electronic (Польща) [15]. Ємність однієї ТАБ складає 12 кВт·ч, діапазон напруги – 480..800 В, номінальна електрична потужність 15,7 кВт, максимальна електрична потужність – 30 кВт, маса ТАБ – 100 кг, ступінь захисту

IP67, робочий діапазон температур від мінус 40 °C до плюс 60 °C. Габаритні розміри ТАБ компанії WB Electronic представлені на рисунку 2.

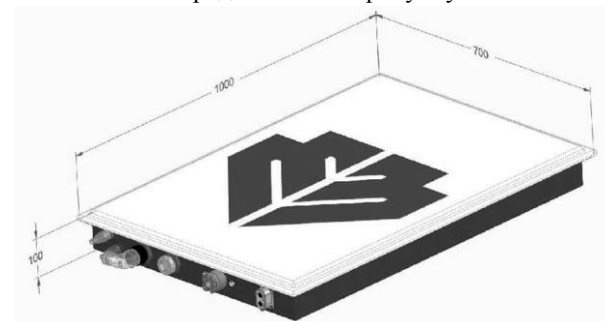


Рис. 2 Габаритні розміри ТАБ компанії WB Electronic

Для виконання компоновання ГСУ в шасі танка Т-72 був обраний дизельний двигун DEUTZ VF6M1015 CP потужністю 330 кВт. Оскільки цей двигун має менші розміри довжини й ширини у порівнянні з дизельними двигунами серії 6ТД та більший моторесурс у порівнянні з дизельними двигунами серії 3ТД.

На рисунках 3, 4 представлені вигляд зверху шасі танка Т-72 з компонентами ГСУ та вигляд зверху моторно-трансмісійного відділення (МТВ) танка Т-72 з компонентами ГСУ.

В результаті виконання компоновання в шасі танка Т-72 було отримано, що в обмеженому просторі МТВ і шасі не достатньо місця для розміщення системи охолодження тягового електро- устаткування

та додаткового електроустаткування для підключення ТЕД, ТЕГ і ТАБ. Також встановлення дизельного двигуна DEUTZ BF6M1015 CP приводить до збільшення висоти МТВ на 150 мм. Виходячи з цього, подальші роботи з компонування ГСУ проводились на шасі виробу БМТ-72, у якому десантне відділення використовувалось для розміщення системи охолодження тягового електроустаткування. Для зменшення висоти МТВ розглядалися варіанти встановлення дизельних двигунів 6ТД-1 потужністю 736 кВт і 3ТД-4 потужністю 441 кВт.

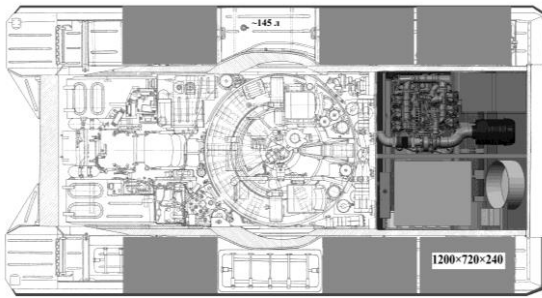


Рис. 3. Вигляд зверху шасі танка Т-72 з компонентами ГСУ

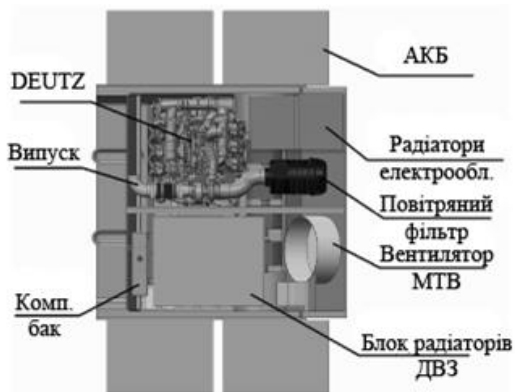


Рис. 4. Вигляд зверху МТВ танка Т-72 з компонентами ГСУ

При виконанні компонування ГСУ з дизельним двигуном 6ТД-1 з встановленими двома ТЕГ з обох боків на колінчастих валах не залишилось місця для прокладання тяг керування лівою і правою БКП. Тому для побудови ГСУ був обраний дизельний двигун 3ТД-4. До його колінчастих валів були приєднані два ТЕГ SUMO HP HV900-3P. Максимальна електрична потужність дизель-генератора становить 360 кВт.

Остаточний варіант компонування виробу БМТ-72 з ГСУ на базі дизельного двигуна 3ТД-4 наведений на рисунку 5.

В результаті у шасі виробу БМТ-72 було розміщено 20 модулів Li-ion ТАБ компанії WB Electronic. З них по одному модулю зліва і справа спереду у броньованих боксах на надгусеничних полках та по 9 модулів зліва і справа позаду у броньованих боксах.

Паливна система ГСУ складається з внутрішніх баків 705 л, зовнішнього баку 145 л та додаткових бочок – 400 л.

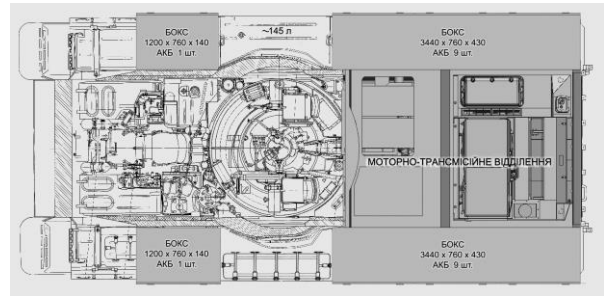


Рис. 5. Вигляд зверху шасі виробу БМТ-72 з компонентами ГСУ

У МТВ розміщується система охолодження тяговим електроустаткуванням, дизельний двигун 3ТД-4 з обслуговуючими системами, ТЕГ, ТЕД, інвертори та допоміжне тягове електроустаткування. На рисунку 6 приведений вигляд МТВ зверху.

За результатами виконання компонування ГСУ на шасі виробу БМТ-2 збільшилася висота відділення МТВ на 220 мм по дах МТВ і на 330 мм по петлях ежектора. Це призвело до неможливості виконання розвороту гармати з відмінюванням на корму і ведення стрільби при розвороті гармати на корму. Для реалізації цього необхідно збільшувати висоту башти.

Також лівий ТЕД повністю перекриває всмоктувальний отвір нагнітаючого насоса на БКП. Внаслідок цього, неможливо виконати підключення нагнітаючого насоса на лівій БКП. Для забезпечення забору масла з трансмісійного маслобака необхідно збільшувати зазор між фланцем насоса і електродвигуном до величини 100 мм. Це вимагає розробки нової конструкції БКП на три передачі з меншими габаритними розмірами. Три передачі призначені для руху танка по дорозі з твердим покриттям, бездоріжжю та подолання підйому з нахилом 30°.

Таким чином, у шасі виробу БМТ-72 можливо встановити ГСУ на базі дизельного двигуна 3ТД-4 з електричною потужністю дизель-генератора 360 кВт та Li-ion ТАБ 314 кВт.

Виріб БМТ-72 з ГСУ буде мати наступні технічні характеристики:

- маса 54 т, що на 4 т більше у порівнянні з базовим виробом;
- питома потужність 12,7 кВт/т, що на 2 кВт/т менше у порівнянні з базовим виробом;
- максимальна швидкість руху на дорозі з твердим покриттям 60 км/год. при отриманні енергії від дизель-генератора і ТАБ. Відповідає величині максимальної швидкості базового виробу.
- середня швидкість руху 17,4 км/год. при отриманні енергії від ТАБ і 30 км/год. при отриманні енергії від дизель-генератора і ТАБ;
- загальний запас ходу 325,6 км при отриманні енергії від дизель-генератора і ТАБ, що на 174,4 км менше в порівнянні з базовим виробом;
- запас ходу 21 км при отриманні енергії від ТАБ.

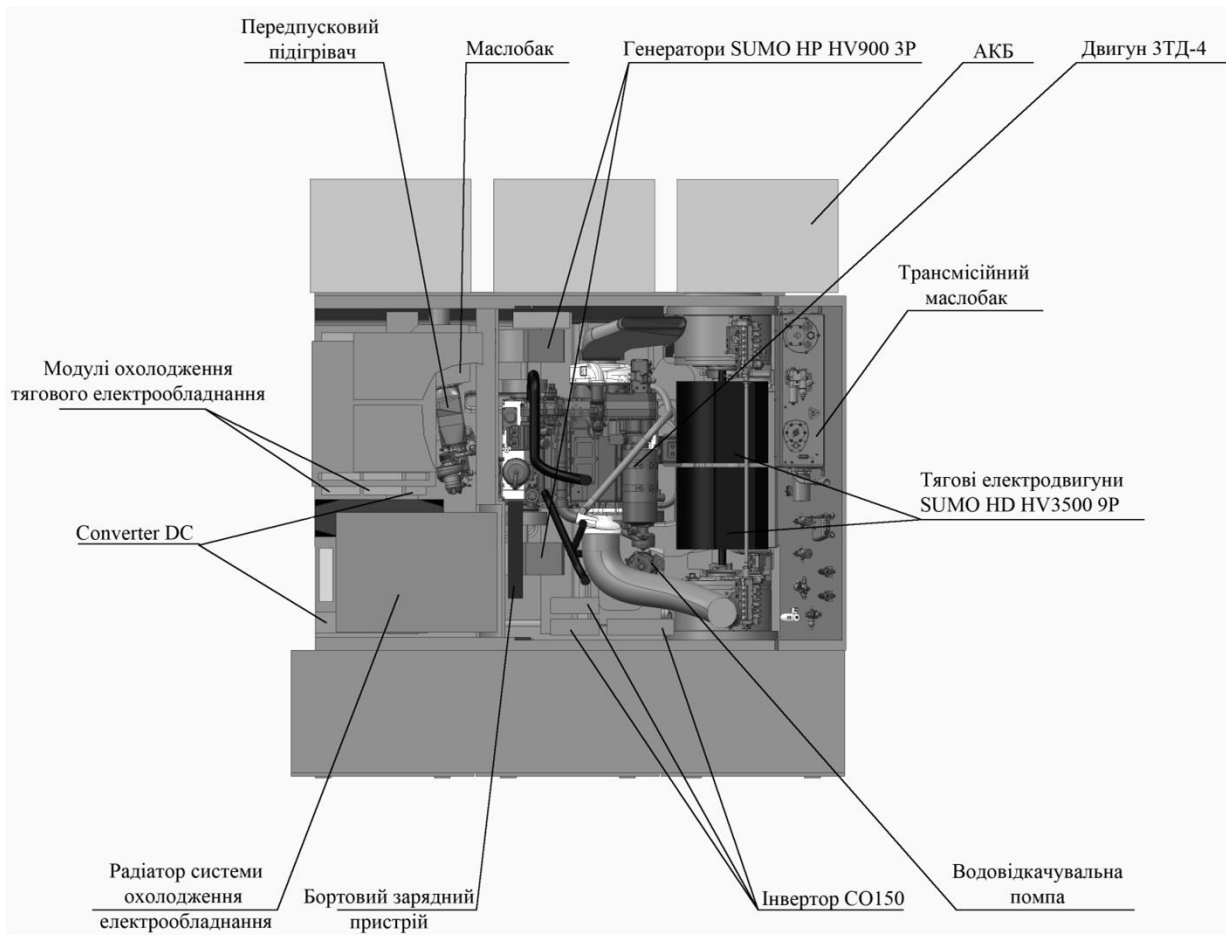


Рис. 6. Вид зверху виробу БМТ-72 з компонентами ГСУ

Компонування ГСУ на БТР-4МВ1

Дослідний зразок виробу БТР-4МВ1 був розроблений і виготовлений ДП «ХКБМ» у 2017 році [16]. Дослідження компонування ГСУ виконувалось у корпусі цього зразка. Розглядалось два варіанти побудови ГСУ. Перший варіант – передача потужності від ТЕД на кожне колесо окремо. Другий варіант – передача потужності від ТЕД на чотири осі. Структурні схеми побудови ГСУ наведені на рисунку 7, де ВК – ведуче колесо, РК – редуктор колісний, КП – коробка передач, РКП – роздавальна коробка передач, М – мост, Р – редуктор, ТЕД – тяговий електродвигун, ТЕГ – тяговий електрогенератор, НЕЕ – накопичувач електричної енергії, Інв – інвертор.

Другий варіант побудови ГСУ розглядався з метою визначення можливості застосування штатних деталей та вузлів трансмісії виробу БТР-4МВ1 для побудови ГСУ.

У склад тягового електроустаткування ГСУ входять ТЕД, ТЕГ, інвертори і ТАБ. Виходячи з розрахунку РД-№6-03 [17], для створення ГСУ з передачею потужності від ТЕД на кожне колесо окремо для БТР масою 25 т з колісною формулою 8x8 потрібен ТЕД механічною потужністю не менше 34 кВт.

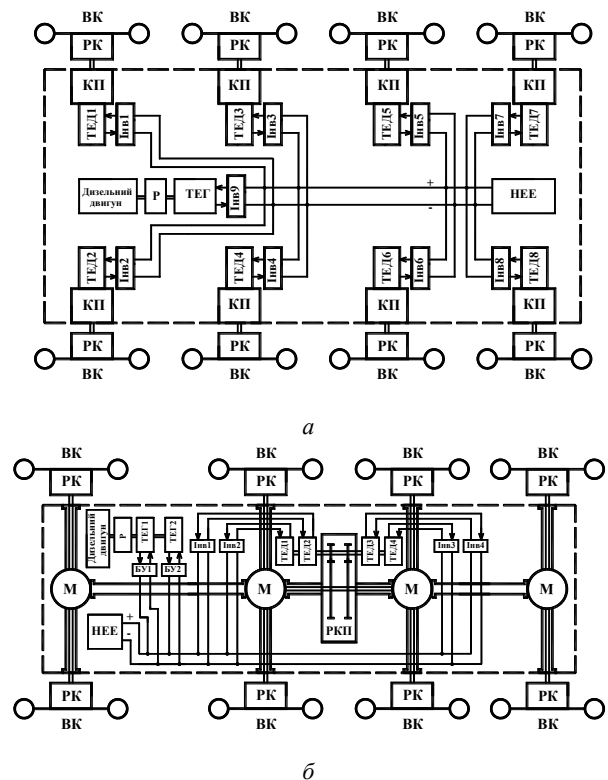


Рис. 7. Структурні схеми побудови ГСУ:

а – з передачею потужності від ТЕД на колесо;
б – з передачею потужності від ТЕД на чотири осі

Для схеми з передачею потужності від ТЕД на вісь потрібен ТЕД механічною потужністю не менше 68 кВт. В результаті проведеного аналізу існуючих ТЕД для колісних машин [18] були обрані ТЕД компанії Enstroj (Словенія). Ця компанія виготовляє модельний ряд двигунів EMRAX 228, EMRAX 268, EMRAX 348 потужністю у діапазонах 20..40 кВт, 30..80 кВт і 40..150 кВт відповідно. З цього ряду була обрана модель EMRAX 348, оскільки вона має найбільшу величину крутного моменту при потужності 40 кВт.

Двигун EMRAX 348 має максимальну частоту обертання вала 4000 об/хв, номінальне значення крутного моменту 500 Н·м і пікове значення 1000 Н·м протягом 30 с. Робочий діапазон ККД 86..96 %. Є варіант виконання з рідинним охолодженням зі ступенем захисту IP65. Робочий діапазон температур -40..+120 °С. Маса двигуна 40 кг. Також двигун EMRAX 348 може використовуватись в якості генератора [19].

Для побудови ГСУ потрібен ТЕГ потужністю 300 кВт. Він буде приєднуватись до дизельного двигуна Deutz BF6M1015CP потужністю 330 кВт. ТЕГ можна побудувати на двох з'єднаних послідовно двигунах EMRAX 348.

При виконанні компонування ГСУ було визначено, що дизельний двигун Deutz BF6M1015CP з редуктором та ТЕГ з двох двигунів EMRAX 348 може бути встановлений у моторно-трансмійному відділенні БТР-4МВ1 без дороблення корпусу, оскільки габаритні розміри моноблока енергетичної установки не збільшуються.

Встановлення чотирьох двигунів EMRAX 348 зі штатною РКП бронетранспортера БТР-4МВ1 не можливо через значно великі габаритні розміри вузла у порівнянні з місцем його розташування. Також потребує розробки нова конструкція РКП з передаточними числами 0,516 та 6,81 [20].

Для реалізації схеми побудови ГСУ з передачею потужності від ТЕД на колесо потребує розробки КП з передаточними числами 1,468 та 4,315 [20].

НЕЕ також виконувався з Li-ion ТАБ компанії WB Electronic. Ці ТАБ були розташовані у десантному відділенні бронетранспортера БТР-4МВ1. Вигляд збоку десантного відділення з розташованими ТАБ, наведений на рисунку 8.

В результаті виконання компонування у десантному відділенні бронетранспортера було розташовано 16 модулів Li-ion ТАБ. Загальні маса 1,6 т і ємність НЕЕ 192 кВт·год. Виходячи з розрахунку В1357.002 РР – 01, [20] для забезпечення руху бронетранспортера по сухій ґрунтовій дорозі на НЕЕ на відстань 10 км зі швидкістю 40 км/год. потрібна ємність НЕЕ приблизно 36 кВт·год. Тоді розрахунковий запас ходу на НЕЕ по сухій ґрунтовій дорозі дорівнює 53 км. Загальний запас ходу буде не менше базового виробу БТР-4МВ1.

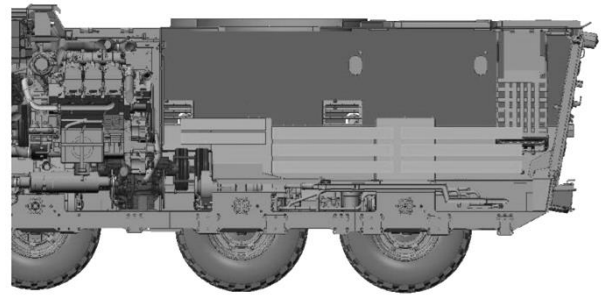


Рис. 8. Вид збоку десантного відділення БТР-4МВ1 з розташованими ТАБ компанії WB Electronic

оскільки ємність паливної системи не змінювалась при виконанні компонування. Розрахункова максимальна швидкість бронетранспортера з ГСУ відповідає базовому зразку і дорівнює 110 км/год.

Висновки

Застосування ГСУ у виробі БМТ-72 не привело до поліпшення швидкісних характеристик виробу і збільшення запасу ходу, крім забезпечення виконання руху на ТАБ на відстань до 21 км при непрацюючому дизель-генераторі.

Впровадження ГСУ на важких військових гусеничних машинах масою 40-50 т є недоцільним через недостатню електричну потужність, великі габаритні розміри ТАБ та велику масу виробу.

Перспективним напрямом є впровадження ГСУ на військових колісних машинах масою до 30 т.

Для впровадження ГСУ на бронетранспортері по схемі з передачею потужності від ТЕД на колесо потребує розробки коробки передач з двома передачами.

Список літератури

1. Стримовский С.В. Разработка гибридной силовой установки с электромеханической трансмиссией для военных колесных машин / С.В. Стримовский // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Транспортне машинобудування. – 2018. – №29. – с 100–107.
2. Electric transmission progress in Germany. / P. M. Ozorkevich // International defense review, 1992. no. 2, pp. 153–154. – Режим доступу: http://btvt.narod.ru/4/electric_transmission_fritz.htm. – Дата обращения: 04.01.2019.
3. Электрические трансмиссии для современных боевых машин / Рон Хэр, Алан Лосе, представители группы "Дерен Системз" фирмы FMC. – Режим доступу: http://btvt.narod.ru/1/electr4/el_transm.htm. – Дата обращения: 04.01.2019.
4. SEP модульный бронетранспортер – Режим доступа http://army_guide.com. – Дата обращения: 19.08.2019.
5. Глебов В.В. Оценка возможности применения на боевых гусеничных платформах гибридной электромеханической трансмиссии / В.В. Глебов, С.А. Волосников, А.В. Соболяк // Механіка та машинобудування. – 2017. – №1. – с. 83 – 89.
6. Quantitative Analysis of a Hybrid Electric HMMWV for Fuel Economy Improvement – Режим доступу <https://www.aerodefensetech.com/component/content/article/adt/tech-briefs/physical-sciences/15686>. – Дата обращения: 21.09.2019.

7. Feasibility of Hybrid Diesel-Electric Powertrains for Light Tactical Vehicles – Режим доступа https://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc319/p807529_A1b.pdf. – Дата обращения: 21.09.2019.

8. Стримовский С.В. Анализ трансмиссий современных легкобронированных колесных военных машин и их влияние на параметры подвижности / С.В. Стримовский, Ю.А. Слюсаренко, В.М. Соловьев // Интегровані технології та енергозбереження. – 2014. – №3. – С 97 – 107.

9. Военное применение гибридных электроприводов // Army Guide Monthly. – 2005. – №12(15) Декабрь. – с. 16–18.

10. The Oshkosh Hybrid Truck. – Режим доступа http://hybrid_vehicle.org. – Дата обращения: 15.03.2019.

11. Конструкторы «ВПК» создали шасси «Крымск» с гибридной силовой установкой для перспективного БТР. – Режим доступа <http://rosinform.ru>. – Дата обращения: 15.03.2019.

12. Технические условия БМТ-72 АГТ.ТУ1– ХКБМ, 2002. – 59 с.

13. Расчет основных характеристик танка Т-72 при установке электромеханической трансмиссии. 72АГК.007РР-01. – ХКБМ, 2018. – 9 с.

14. SUMO HD HV3500-9P motor – Режим доступа http://www.tm4.com/SUMO_HD_HV3500-9P.html. – Дата обращения: 25.02.2019.

15. Modular Electric Energy System – Режим доступа http://www.wbgroup.com.pl/electric_energy_system.html. – Дата обращения: 12.03.2019.

16. Колесный бронетранспортер БТР-4МВ1. Руководство по эксплуатации В1357 РЭ – ХКБМ, 2017. – 620 с.

17. Методика определения характеристик тяговых асинхронных двигателей для электрической трансмиссии колесных машин специального назначения РД-№6-03. – ХКБМ, 2013. – 13 с.

18. Стримовский С.В. Выбор тягового электродвигателя для проектирования электрической трансмиссии на легкобронированные колесные военные машины / С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2017. – №1. – с 145–155.

19. EMRAX 348 motors/generators – Режим доступа <http://www.enstroj.si/Electric-products/emrax-348-motorsgen.html>. – Дата обращения: 08.02.2019.

20. Расчет параметров трансмиссии и тяговых характеристик при установке ЭМТ В1357.002 РР – 01. – ХКБМ, 2019. – 10 с.

О применении гибридной силовой установки на военных гусеничных и колесных машинах

В.В. Глебов, Ю.М. Гужва, В.М. Королев, С.В. Стримовский

Рассмотрен вопрос эффективности применения гибридной силовой установки на военных машинах. Проведен анализ зарубежных образцов военных гусеничных и колесных машин с внедренной гибридной силовой установкой и их технических характеристик. Выполнен выбор тягового электрооборудования для построения гибридной силовой установки для танка и бронетранспортера. Проведено исследование компоновки составных частей гибридной силовой установки в моторно-трансмиссионном отделении и корпусе танка Т-72, тяжелой боевой машины пехоты БМТ-72 и бронетранспортера БТР-4МВ1. Определены технические характеристики изделий БМТ-72 и БТР-4МВ1 при внедрении на них гибридной силовой установки.

Ключевые слова: бронетранспортер, гибридная силовая установка, электромеханическая передача, накопитель электрической энергии, тяговая Li-ион аккумуляторная батарея, тяговый электродвигатель и генератор, танк.

On using a hybrid power plant on military tracked and wheeled vehicles

V. Hlebov, U. Huzhva, V. Koroliov, S. Strimovskiy

One of the areas for improving military tracked and wheeled vehicles is considered, namely the use of a hybrid power plant. A problem is determining the effectiveness of using a hybrid power plant in military vehicles. An analysis of foreign samples of the military tracked and wheeled vehicles with an integrated hybrid power plant and their technical characteristics is carried out. A selection of traction electrical equipment for the construction of a hybrid power plant for a tank and an armored personnel carrier was made. The technical characteristics of traction electric motors are considered: SUMO HD HV3500-9P company DANA (Canada), EMRAX 348 company Enstroj (Slovenia); traction Li-ion battery company WB Electronic (Poland), SUMO HP HV900-3P motor generator (LSG130 generator) DANA company (Canada).

A study was done on the composing of the components of the hybrid power plant in engine and transmission compartment and the hull of the T-72 tank, BMT-72 heavy infantry fighting vehicle and BTR-4MVI armored personnel carrier. The study was conducted by modeling and comparative analysis. The simulation was carried out in a computer-aided design system Creo Parametric 2.0.

As a result of the study, the technical characteristics of the BMT-72 and BTR-4MVI products were determined with the introduction of a hybrid power plant on them. It was found that the use of a hybrid power plant on the BMT-72 product did not lead to improvement in speed characteristics and increase the power reserve, in addition to ensuring movement on traction batteries up to 21 km on a dry dirt road. The use of a hybrid power plant on armored personnel carrier BTR-4MVI improves its maneuverability when applying a power transmission scheme from a traction motor to each wheel separately, provides movement on traction batteries up to 53 km on a dry dirt road. The total power reserve will be no less than the base product, since the capacity of the fuel system did not decrease. The estimated maximum speed of an armored personnel carrier with a hybrid power plant corresponds to the maximum speed of the base product and is 110 km/h.

The introduction of a hybrid power plant on military tracked vehicles weighing 40-50 tons is not advisable due to insufficient electric power, large overall dimensions of traction batteries and large mass of the product. A promising direction is the introduction of a hybrid power plant on military wheeled vehicles weighing up to 30 tons. To implement a hybrid power plant on armored personnel carrier according to the scheme of transferring power from the traction electric motor to the wheel, it is necessary to develop a gearbox design with two gears.

Key words: armored personnel carrier, hybrid power plant, electromechanical transmission, electric energy storage, traction Li-ion battery, traction electric motor and generator, tank.