

The mathematical models developed in the work made it possible theoretically and experimentally, through simulation modeling on computer, without material costs to evaluate the effectiveness of using the proposed new and improved known methods of synthesis of hardware to ensure communication with the necessary reliability and reliability of information transmission.

Based on the results of simulation modeling, the structure of the radio channel using the relay of information signals and control commands, the structural diagrams of the transmitting and receiving devices, and the main technical characteristics of their constituent parts are determined. This made it possible to implement an experimental sample of the proposed system of interference-protected communication, to evaluate the achieved technical characteristics and to determine ways to improve them.

Keywords: *artillery reconnaissance; immunity; radar complex for reconnaissance of firing positions; unmanned aerial vehicle; phase automatic frequency adjustment.*

УДК 623.43:629.4.027.32

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.8-20>

В.В. Дущенко¹, Р.А. Нанівський²

¹*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків*

²*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

Article history: Received 10 September 2024; Revised 18 September 2024;

Accepted 04 November 2024

РОЗВИТОК СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ТА ЇХ ПОТЕНЦІАЛ У ПІДВИЩЕННІ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

Встановлено функціональний взаємозв'язок між досконалістю системи підресорювання, взаємопогодженням її характеристик з характеристиками комплексів озброєння, силової установки і трансмісії та підвищенням показників основних груп тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин. На основі проведеного аналізу тенденцій розвитку оцінено потенціал та визначено головні напрями розвитку системи підресорювання, які принципово вплинуть на забезпечення виконання сучасних і перспективних оперативно-тактичних вимог та призведуть до суттєвого зростання тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин. Це: застосування гідропневматичних підвісок, впровадження нетрадиційних систем керування характеристиками вузлів підвіски на основі використання «інтелектуальних» матеріалів, зокрема магніторелогічних еластомерів, застосування фрикційних амортизаторів та нових кінематичних схем підвіски зі значно збільшеним динамічним ходом, а також застосування систем рекуперації енергії демпфірувальних пристроїв підвіски.

Ключові слова: *бойова броньована машина, тактико-технічні характеристики, система підресорювання, вогнева могутність, рухливість, захищеність.*

Постановка проблеми

Основні напрями розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) в Україні передбачають забезпечення військових підрозділів сучасними зразками бойових броньованих машин (ББМ) з підвищеними характеристиками мобільності, прохідності, автономності, економічності та захищеності особового складу [1]. Підкреслюється, що ОВТ Сухопутних військ будуть розвиватися з урахуванням набутого досвіду ведення бойових дій, вимог щодо високої маневреності підрозділів, автономності їх дій та дальнього вогневого ураження противника. ББМ повинні мати оптимальні варіанти забезпечення

основних тактико-технічних вимог (ТТВ) (висока мобільність, підвищена вогнева могутність та захищеність), максимальну надійність, високу прохідність і запас ходу [2].

Можливість виконання переважної більшості ТТВ тією чи іншою мірою, залежить від рівня технічного розвитку систем підресорювання (СП) ББМ, тим не менш питання впливу досконалості СП ББМ на основні показники їх тактико-технічних характеристик (ТТХ) не систематизовані, а стосовно вогневої могутності і захищеності є малодослідженими. У свою чергу, СП вітчизняних ББМ, внаслідок недофінансування використовують застарілі технічні рішення минулого сторіччя, відстають

від рівня розвитку СП сучасних ББМ передових країн і не можуть забезпечити виконання необхідних ТТВ.

Таким чином, дослідження потенціалу СП у підвищенні ТТХ ББМ, визначення перспективних напрямків розвитку вузлів СП, які зможуть забезпечити виконання основних ТТВ, що постійно зростають, складають актуальну науково-практичну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основні групи оперативно-тактичних вимог (ОТВ) при створенні колісних ББМ розглянуто у роботі [3]. Зокрема, вимоги щодо маневреності та надійності: потужність силової установки, трансмісія й ходова частина (ХЧ) повинні забезпечувати прохідність у різних дорожніх і кліматичних умовах; середня швидкість на місцевості – не менша ніж 40...45 км/год. Визначення показників груп ОТВ стосовно перспективних колісних ББМ повинно йти шляхом автоматизації процесів управління вогнем і рухом, підвищення захищеності, живучості, командної керованості, автономності та ергономіки.

У роботі [4] вказується, що при розробці та проектуванні нових поколінь вузлів СП ББМ необхідно оцінити їх існуючий технічний рівень, досягнутий кращими світовими зразками за прийнятими групами функціональних, технологічних, економічних і антропологічних критеріїв. Середня швидкість на місцевості повинна складати 50...55 км/год, а в перспективі підвищитися до 65 км/год.

У роботі [5] розглянуто формування вимог до автомобілів та ББМ Національної гвардії України. Серед них: висока оперативно-тактична рухливість, можливість здійснення маршів з високими швидкостями руху, прохідністю по ґрунтових дорогах та поза ними, висока стійкість і маневреність; надійність та живучість конструкції; захист особового складу при підриві на вибухових пристроях; високі техніко-економічні показники у виробництві й експлуатації. СП повинна забезпечувати мінімальну втомлюваність водія при русі по ґрунтових дорогах протягом не менше 3-х годин. Запас ходу повинен бути 800...1000 км.

Необхідно зазначити, що формування і аналіз ОТВ та забезпечення високих ТТХ перспективних ББМ потрібно будувати на основі аналізу світових тенденцій розвитку ОВТ передових країн.

У роботі [6] розглянуто питання реалізації основних тенденцій розвитку ОВТ, що реалізуються на світовому рівні, насамперед в передових у військовому відношенні країнах. Виділено 11 тенденцій. Стосовно ББМ серед них:

- створення нових високоефективних відносно легких ББМ, які повинні прийти на заміну (частково або повністю) основним бойовим танкам;

- пріоритетна розробка високоефективних транспортних засобів (ТЗ) середнього і великого радіуса дії з метою оперативного маневрування військами, підвищення маневреності самих зразків;

- підвищення скритності і захищеності ББМ від ураження звичайною зброєю та зброєю масового електромагнітного ураження.

У роботі [7] вказується, що всі танки (це стосується і ББМ) оцінюються за чотирма основними бойовими властивостями: захищеністю, вогневою могутністю, рухливістю та командним управлінням. При цьому конструктори намагаються вирішувати питання їх оптимальної комбінації, що є важливим. Підвищення захищеності здійснюється, у тому числі, шляхом зниження імовірності виявлення та помітності, що досягається, зокрема, зниженням силуету. Застосування гідропневматичних підвісок (ГПП) має забезпечити плавність ходу за будь-яким типом місцевості, шляхом автоматичної зміни своїх основних характеристик залежно від умов руху.

У роботі [8] зазначається, що з метою підвищення рухливості на перспективних колісних ББМ планується застосування ГПП та електричних приводів коліс. Вказується, що американські фахівці відпрацьовують технології застосування гібридних двигунів, створення редукторів у маточинах коліс, активної ГПП та застосування технічних рішень (ТР), які дозволять зменшити витрати палива. Подальше вдосконалювання колісних ББМ спрямовано на захист екіпажу, застосування нових компонентів рішень, автоматизацію процесів управління вогнем, рухом машин, підвищення їх живучості, автономності та поліпшення ергономіки роботи.

У роботі [9] на основі аналізу перспективних напрямків розвитку СП ББМ зроблено, зокрема, наступні висновки:

- подальше вдосконалення СП шляхом розробок, що використовують традиційні матеріали і відомі ТР та фізичні принципи дії (ФПД) практично себе вичерпало;

- нові ТР та застосування нових матеріалів спрямоване на забезпечення і полегшення керування характеристиками вузлів СП.

На сьогодні у розвинених країнах з метою підвищення ТТХ ББМ виконується ряд програм і проєктів, у тому числі, такими відомими організаціями, як DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) – агенція передових дослідницьких проєктів міністерства оборони США, SOA – Європейська оборонна агенція, що виконує роль координатора у країнах Європи, та ФПД – Фонд перспективних досліджень (росія). Одним із правил їх діяльності є застосування виключно проривних революційних технологій без всіляких модернізацій та удосконалення відомих ТР.

Неабиякий інтерес становить тенденції розвитку ББМ, які окреслено у прийнятих програмах досліджень DARPA. Так наразі отримано чергові результати виконання програми GXV-T (Ground X-Vehicle Technologies), яка була запущена у 2014 році [10–12]. За цією програмою досліджуються концепції створення легкої колісної ББМ як альтернативи важким машинам. Ця ББМ повинна мати високі показники захищеності за рахунок високої мобільності і можливості у разі обстрілу ухилитися та «присідати» на підвісці. Крім того, вона повинна мати вдвічі більшу середню швидкість руху, забезпечувати прохідність по 95% місцевості та швидко змінювати рух у трьох вимірах.

Аналогічні програми прийняті до виконання і ФПД росії. З відкритих джерел відомо, що виконуються проекти з підвищення мобільності машин на пересіченій місцевості, розробки активних засобів протидії факторам, що уражують ББМ, та застосування інтелектуальних систем захисту.

З проведеного аналізу витікає, що формування ОТВ, підвищення ТТХ та світові тенденції розвитку ББМ очікувано спрямовані на подальше підвищення їх вогневої могутності, захищеності, рухливості та командної керованості. Підвищення рухливості передбачається шляхом застосування ГПП, систем керування характеристиками СП та застосування нових ТР, які дозволять суттєво підвищити її можливості, надійність, ремонтпридатність і ресурс. Вказується на необхідності взаємопогодження характеристик СП, комплексів озброєння, силової установки та трансмісії.

Тим не менш, відсутній аналіз цього взаємопогодження та не виділено основні напрями розвитку СП, які можуть принципово вплинути на комплексне підвищення ТТХ ББМ та забезпечити зростання їх показників за рахунок підвищення досконалості СП.

Мета досліджень

Встановити функціональний взаємозв'язок між досконалістю виконання своїх функцій СП ББМ та забезпеченням досконалості виконання своїх функцій комплексом озброєння, силовою установкою і трансмісією та дослідити можливість підвищення показників головних складових ТТХ ББМ за рахунок удосконалення СП. Провести аналіз тенденцій розвитку СП, оцінити їх потенціал та сформулювати основні напрями, які принципово вплинуть на забезпечення виконання сучасних і перспективних ОТВ до ББМ та підвищення їх ТТХ.

Виклад основного матеріалу

Головними складовими ТТХ військових машин є показники їх вогневої могутності, рухливості та

захищеності [13]. Встановимо функціональний взаємозв'язок між досконалістю СП та підвищенням показників ТТХ ББМ.

Функціональним призначенням СП є зниження до найбільш можливих мінімумів, в ідеалі до нуля, амплітуд, швидкостей і пришвидшень поздовжньо-кутових, вертикальних та поперечно-кутових коливань підресореного корпусу, які виникають при будь-яких видах зовнішніх збурень та режимів руху ББМ на місцевості, в усьому діапазоні швидкостей, а також при подоланні перешкод. Крім того, характеристики СП повинні бути взаємопогоджені з характеристиками силової установки, трансмісії та комплексу озброєння, які не повинні обмежувати технічних можливостей одна одної.

І. Вогнева могутність.

Вогнева могутність забезпечується комплексом озброєння, функціональним призначенням якого є забезпечення точної стрільби з ходу на будь-яких режимах і швидкостях руху на місцевості та ураження цілі при влучанні.

Вогнева могутність характеризується бойовою продуктивністю та вогневим ресурсом.

Бойова продуктивність – визначається вогневою продуктивністю, тобто точністю стрільби (імовірністю влучення у ціль), швидкодією (часом пошуку цілі та часом підготовки пострілу), а також могутністю дії на ціль та інформативністю системи керування вогнем. Стосовно бойової продуктивності СП здійснює функціональний вплив на точність стрільби та швидкодію – час пошуку цілі.

Для реалізації свого функціонального призначення комплекс озброєння оснащується 2-площинним стабілізатором, балістичним обчислювачем та відповідними датчиками.

З підвищенням середніх швидкостей руху (сучасна домінуюча тенденція) точність стрільби і швидкодія (час пошуку цілі) стали напряму залежати від параметрів коливань підресореного корпусу ББМ. Внаслідок великих амплітуд і швидкостей цих коливань, а також обмежених технічних можливостей стабілізаторів озброєння суттєво збільшується час їх нестабілізованого стану, коли здійснення прицільного пострілу стає неможливим. Також збільшується і додаткове розсіювання снарядів, коли постріл дозволено. У свою чергу, підвищений рівень вертикальних пришвидшень на високих швидкостях руху та недостатня фіксація положення тіла навідника призводять до його втомлюваності, послаблення уваги та зниження працездатності і, як результат, до збільшення часу і похибок при пошуку цілі та наведенні озброєння.

Час нестабілізованого стану озброєння було розглянуто у роботі [14], де в якості критерію ефективності підвіски танка було запропоновано прийняти середню частоту постановки пушки на гідростопор,

яка, у свою чергу, визначається кутовими коливаннями підресореного корпусу та можливими кутами схилення і піднесення озброєння. В якості іншого критерію було запропоновано час, що відводиться на ураження цілі та імовірність того, що за цей час гармата жодного разу не стане на обмежувачі. Ці критерії дозволяють встановити функціональний зв'язок між ефективністю комплексу озброєння та досконалістю СП.

У роботі [15] було показано, що при стрільбі з ходу спостерігається додаткове розсіювання снарядів у вертикальній площині, яке обумовлене лінійним вертикальним переміщенням підресореного корпусу та швидкістю його поздовжньо-кутових коливань, які будуть передані снаряду у момент його вильоту з каналу ствола. Це розсіювання суттєво залежить від швидкості руху і при 30 км/год навіть для бронебійнопідкаліберних снарядів, на дальності 2...2,5 км може досягати 60% від технічного розсіювання, а для інших типів снарядів навіть перевищувати його. Тобто вплив вертикальної швидкості кінця ствола в момент пострілу, яка обумовлена коливаннями підресореного корпусу та не враховується балістичним обчислювачем, має той же порядок, що і головні складові похибки стрільби.

Крім того, в умовах руху на місцевості навіть у діапазоні швидкостей 10...25 км/год, внаслідок поштовхів, трясби і коливань навідник припускається похибок, що перевищують точність стабілізації поля зору прицілу у 1,5...2 рази. Щоб точність наведення танкової гармати була не гірше необхідних 0,1...0,15 мрад, вертикальні пришвидшення не повинні перевищувати 0,2 g при градієнті наростання не більше 0,7 м/с³. Тим не менш, за даними випробувань танків і БМП, середній рівень вертикальних пришвидшень досягає 0,4 g, що відповідає медико-технічним вимогам, але забезпечує точність наведення прицільної марки не краще за 0,2...0,25 мрад, тобто в 1,8 раза нижче необхідного рівня [16]. Для зниження переважань було запропоновано на перспективних ББМ застосувати ГПП із регулюванням характеристик.

Досвід експлуатації показав, що із стабілізованого стану комплекс озброєння виводять швидкості поздовжньо-кутових коливань, більші за 25...30 град/с. При швидкості руху по танковій трасі 25...30 км/год час нестабілізованого стану (удари гармати в обмежувачі, перевищення можливостей вертикального привода стабілізатора) складає 25%, що суттєво знижує бойову продуктивність [17].

Таким чином, зниження амплітуд і швидкостей, насамперед вертикальних та поздовжньо-кутових коливань підресореного корпусу, є вагомим чинником покращення показників бойової продуктивності ББМ. Для виконання цієї задачі удосконалення СП ББМ сьогодні відбувається у наступних напрямках:

застосування ГПП, використання керування характеристиками СП та суттєве збільшення енергоємності демпфірувальних пристроїв (ДП) підвіски. Однак практична реалізація цих напрямів стикається з доволі значними труднощами, які не дозволяють повноцінно їх впроваджувати на серійних ББМ.

Перший напрям. Головними перевагами ГПП у порівнянні з традиційними торсіонними підвісками є їх нелінійна пружна характеристика, більша енергоємність та порівняна легкість забезпечення керування приведеною жорсткістю. Переважна більшість досліджень ГПП направлена на подолання їх головних недоліків (нестабільності та температурної чутливості пружної характеристики), розрахунку раціональних або оптимальних параметрів з метою покращення показників рухливості, дослідження керування їх характеристиками та забезпечення працездатності конструкції. Однак вкрай недостатньо висвітлено питання впливу переваг ГПП на підвищення показників вогневої могутності та захищеності ББМ, що стримує їх широке впровадження.

Другий напрям. Застосування керованої підвіски замість звичайних СП сьогодні вважається ефективним засобом підвищення точності стабілізації озброєння танків і ББМ.

Градацію розвитку рівня автоматизації керування характеристиками СП військових машин від систем з некерованими СП (1-ше покоління) до систем з використанням штучного інтелекту (6-те покоління) представлено у роботі [18]. Усі сучасні серійні зразки основних бойових танків та серійних ББМ з керованими ГПП можна віднести до 2-го покоління (ручне або автоматизоване керування). До 3-го покоління було віднесено ходовий макет гусеничної машини проміжної категорії по масі Г-133 з керованими гідроциліндрами (розроблений у колишньому СРСР наприкінці 70-х років ХХ ст.). Схожу підвіску мав і ходовий макет проекту МВТ-70 (розроблений у США у 70-ті роки ХХ ст.), яка додатково забезпечувала адаптацію до динамічних характеристик джерела збудження. Цей проект було віднесено до 4-го покоління. До проекту 5-го покоління (СП з програмованим керуванням та адаптацією до джерел збудження і внутрішньою діагностикою) було віднесено проект КРz-2000 (Німеччина). На сьогодні проектом ББМ 6-го покоління (з елементами штучного інтелекту) можна вважати вже раніше згаданий проект GXV-T (DARPA, США).

Залежно від енергоспоживання керовані підвіски поділяються на активні (енергоспоживання складає до 30% від потужності двигуна), напівактивні (енергоспоживання зменшено шляхом періодичного керування) та пасивні підвіски (потребують мінімум енергії для функціонування).

За приклад активної підвіски можна взяти згаданий вище ходовий макет Г-133. На кожній підвісці машини замість пружних елементів (ПЕ) і демпфівальних пристроїв (ДП) застосовувалися керовані активні гідроциліндри. Завдяки цьому поздовжньо-кутові, поперечно-кутові та вертикальні коливання корпусу машини, у діапазоні частот 0,3...3 Гц, зменшилися у 3...7 разів, причому максимум ефективності припав на власні частоти серійних СП 0,8...1,2 Гц, які відповідають основному спектру збурень та похибок серійних стабілізаторів озброєння [17]. Тим не менш, ця підвіска виявилася складною, мала високу вартість та споживала до 30 % потужності силової установки. Від її використання відмовились.

Яскравим прикладом напівактивної підвіски, розробленої на початку 2000-х років для ТЗ цивільного призначення, є підвіска фірми Bose [19, 20]. Ця підвіска базується на дещо іншому ФПД – замість активних гідроциліндрів на кожній підвісці було застосовано лінійні електродвигуни, що мають здатність до рекуперації енергії, та кероване магнітне поле, а для підтримки ваги машини у статичному стані використовувалися торсіони. Лінійний електродвигун керується мікропроцесорною системою та виконує функції амортизаційної стійки (стискається та розтискається), але робить це за мілісекунди, тобто в разі швидше за звичайний амортизатор з пружиною. Це дозволило повністю погасити усі види коливань машини, що виникають під час їзди по нерівній дорозі, маневруванні та гальмуванні. Завдяки реалізації функції рекуперації частина витраченої енергії на циклах стискання поверталася назад через підсилювачі та заряджала батарею суперконденсаторів, що дозволило знизити потужність, яка витрачається на керування. Ця підвіска була реалізована на автомобілі Lexus LS 400, а демонстрація його можливостей викликала великий резонанс. Однак, суттєвими недоліками підвіски Bose виявилися її велика складність та вартість конструкції (особливо потужних неодимових магнітів), а також велика вага (додаткові 90 кг), погіршення динаміки та підвищені витрати палива. Ці недоліки, а також ризик впровадження підвіски без всеосяжних випробувань, особливо ресурсних, необхідність великих інвестицій, потреба у спеціальному програмному забезпеченні та його підтримці призвели до того, що ні один автовиробник не наважився впровадити підвіску Bose на своїх серійних ТЗ.

Виявлені недоліки активних та напівактивних підвісок призвели до розвитку систем керування, які базуються на інших ФПД і ТР та забезпечують мінімальне енергоспоживання – пасивних систем керування. Найбільш пристосованими для цього виявилися ГПП, які включали в себе ДП – ГА та

ПЕ – пневмоциліндри або пневмокамери. Регулювання демпфівувальних властивостей відбувалося шляхом зміни перерізів дроселюючих отворів або роботою електроклапанів. Такі керовані механізми забезпечували швидкодію на рівні 0,1 – 0,15 с. У свою чергу, керування пружними властивостями забезпечувалося підключенням-відключенням додаткових пневмокамер або шляхом накачування-випускання певної кількості повітря. Останній варіант мав незначну швидкодію, але знайшов своє використання у системах регулювання положення підресованого корпусу (СРПК).

З метою зменшення складності конструкції, збільшення надійності і, головне, підвищення швидкодії керування, дослідниками та розробниками керованих підвісок було здійснено перехід до нових ФПД і ТР ДП та ПЕ. Цей перехід полягає, по-перше, в застосуванні електромагнітного поля в якості керованого замість механічного поля і, по-друге, у використанні «інтелектуальних» матеріалів (smart materials), фізико-технічні властивості яких можуть змінюватися під дією цього поля. Це дозволило вирішити ряд проблем традиційних систем керування і, головне, на порядок підвищити швидкодію керування до 0,01 с. Враховуючи, що повний хід підвіски танка або ББМ при русі на місцевості на швидкостях 25...30 км/год реалізується за 0,2 с, керування у реальному часі за допомогою традиційних ТР стає неможливим.

До «інтелектуальних» матеріалів сьогодні відносять: п'єзоелектричні, електрострикційні та магнітострикційні матеріали, електрореологічні та магнітореологічні рідини (МРР), магнітореологічні еластомери (МРЕ), сплави та полімери з пам'яттю форми.

Найбільш дослідженим напрямком є застосування МРР у керованих ДП підвіски ТЗ як цивільного, так і військового призначення, що пояснюється їх високим потенціалом.

В основі роботи таких ДП лежить спроможність МРР практично миттєво, за 10^{-7} ... 10^{-6} с, змінювати свою в'язкість, а відтак і зусилля опору, залежно від електромагнітного поля, що накладається. Пропорційно до зміни в'язкості змінюється зусилля опору ГА, яке однозначно пов'язано з величиною електричного керованого сигналу, що забезпечує необхідне керування характеристикою ГА зі швидкодією 0,01 с. Найбільш ґрунтовні дослідження із застосування магнітореологічних ГА у підвісках військових машин представлено у роботах [21, 22].

За декілька десятиліть було розроблено та запатентовано достатню кількість конструкцій ДП з МРР, а магнітореологічні ГА «MagneRide» фірми «Delphi Corporation» застосовуються на декількох моделях серійних цивільних автомобілів [23]. У свою чергу, компанією «MillenWorks» було розроблено модифікацію автомобіля «Hummer» з напівактивною підвіскою та магнітореологічними ГА.

Сьогодні вдалося подолати один із головних недоліків МРР, що стримував їх широке впровадження – нестабільність і випадіння в осад компонентів МРР, а також знизити їх доволі високу вартість. З головних недоліків залишився досить високий знос деталей магнітореологічних ГА, обумовлений абразивністю МРР, що зменшує ресурс вузла та обмежує використання таких ДП.

З метою подолання недоліків магнітореологічних ГА авторами було запропоновано замість МРР використовувати МРЕ, які мають певні переваги. Дослідження у цьому напрямку представлено зокрема у роботі [24]. Реалізація керування характеристиками підвіски на основі використання МРЕ є перспективною. По перше, МРЕ, як і МРР, забезпечує необхідну швидкість на рівні 0,01 с, але МРЕ позбавлені головного недоліку МРР – їх абразивності. По друге, застосування МРЕ дозволить керувати не лише демпфувальними властивостями підвіски, як у випадку застосування МРР, але й її пружними властивостями, що розширює можливості системи керування. З проблем застосування МРЕ, які сьогодні залишаються невирішеними, залишається необхідність підвищення ефективності керування (збільшення меж зміни модулів пружності і втрат) та доволі високе енергоспоживання вузла.

Проведений аналіз, кількість публікацій та патентів свідчать, що застосування керованих підвісок вважається дуже перспективним. Однак, незважаючи на високу ефективність, їх розвиток та застосування як на військових машинах, так і на цивільних ТЗ стримується протиріччям між досягнутим науково-технічним рівнем розвитку та соціально-економічною доцільністю використання.

Вирішення цього протиріччя вбачаємо у пошуку нових ФПД та ТР керованих вузлів підвіски, які дозволять подолати їхні головні недоліки, а саме суттєво знизити енергоспоживання, вартість, складність і експлуатаційні витрати та підвищити надійність, довговічність і ремонтпридатність.

Третій напрям. Як свідчать теоретичні і експериментальні дослідження, для забезпечення необхідної плавності ходу та точності стрільби на резонансних режимах, необхідно підвищувати енергоємність ДП підвіски важких ББМ у 4...5 разів [4]. Однак внаслідок неможливості відведення такої кількості тепла від ДП звичайними засобами таке підвищення енергоємності перетворюється на складну науково-технічну задачу яка на сьогодні вирішується шляхом застосування спеціальних систем примусового охолодження, додаткових ДП (гідропідресорників), а також більш термостійких матеріалів та робочих рідин. Все це підвищує складність конструкції, її вагу та вартість. Альтернативним напрямом, який становить інтерес для дослідників, є

застосування системи рекуперації енергії підвіски, що буде розглянуто нижче.

Вогневий ресурс – відображає характер та число цілей, що вражається боекомплексом і визначається типом та універсальністю озброєння і боеприпасів. Безпосереднього впливу на вогневий ресурс СП не здійснює.

II. Рухливість.

Рухливість характеризується швидкохідністю, прохідністю та автономністю.

Швидкохідність – визначається динамічністю, плавністю ходу та керованістю, які у свою чергу залежать від потужності двигуна, типів СП, рушії, трансмісії та механізмів керування і повороту. Швидкохідність характеризується максимальною швидкістю руху по шосе та середньою швидкістю руху на місцевості. СП здійснює функціональний вплив на плавність ходу, середню швидкість руху на місцевості та керованість і стійкість руху.

Протягом тривалого часу СП ББМ розглядалася як складова машини, функціональним призначенням якої було забезпечення необхідних показників саме швидкохідності.

Потужність силових установок та можливості трансмісії танків та ББМ розробки 60...80-х років минулого століття, які досі знаходяться на озброєнні, забезпечували середню швидкість на місцевості 25...30 км/год, що відповідало дорезонансному режиму руху. Мінімальна прохідна висота нерівностей швидкісної характеристики СП на резонансі складала 150 мм, а безрозмірний коефіцієнт якості СП був на рівні 0,85...0,90. Таким чином, підвіска істотно не обмежувала швидкість на місцевості [4, 25]. Так танк Т-72 має швидкість руху на місцевості, меншу за можливу за потужністю двигуна на 10%, М-60А1 – на 15%. Це пов'язано з незадовільною плавністю ходу, внаслідок чого водій змушений знижувати швидкість руху.

Необхідність виконання вимог з підвищення мобільності і збільшення середніх швидкостей руху на місцевості до 50...55 км/год викликала зростання питомої потужності силової установки та застосування двопотокових гідромеханічних трансмісій. При цьому використання попередніх застарілих СП призводило до погіршення безрозмірного коефіцієнта якості СП до рівня 0,77 ...0,80 та вагомо зменшувало можливість з покращення показників рухливості [4].

Ці тенденції характерні і для сучасних вітчизняних ББМ (БТР-3, БТР-4, Дозор тощо), на яких насамперед вдосконалювали комплекс озброєння, силову установку та трансмісію, а СП залишалася застарілою, від попередніх зразків, в яку вносилися незначні зміни, що виправдовувалося недостатнім фінансуванням. Наприклад, плавність ходу БТР-3 та БТР-4 (мінімальна прохідна висота нерівностей на резонансних швидкостях руху) залишилася на рівні

БТР-70. Це призвело до подальшого відставання СП цих машин від світового рівня. Щоб забезпечити безрозмірний коефіцієнт якості СП на рівні 0,90...0,95 при середніх швидкостях руху на місцевості 50...55 км/год, необхідно забезпечити мінімальну прохідну висоту нерівностей на резонансі, не меншу за 230...240 мм, що є складною науково-практичною проблемою.

До вказаних вище сучасних напрямів удосконалення СП (застосування ГПП, використання керування характеристиками СП, суттєве збільшення енергоємності ДП) для підвищення показників рухливості застосовується напрям значного збільшення динамічного ходу підвіски. Однак сьогодні цей напрям найкращих світових зразках БМ та танків з традиційною кінематичною схемою підвіски практично вже вичерпано.

Так БМ L-ATV Oshkosh, M-ATV Oshkosh, танки M1 (США), Леопард-2 (ФРН) мають динамічний хід

підвіски 350...380 мм, а повний хід досяг 500 мм і вже обмежується традиційними компоновкою машини та кінематикою підвіски.

Оборонпром росії готує до серійного виробництва нову колісну платформу «Бумеранг», яка стала спадкоємницею БТР-90. Проект передбачає створення сучасного бронетранспортера, що різко відрізняється за формою і змістом від традиційних БТР радянського виробництва. Було виготовлено дослідну партію, яка брала участь у військових парадах разом із новим танком «Армата» [26]. Технічні характеристики СП цієї БМ не наводять, але за опублікованими фото її ХЧ з різних ракурсів, за результатами розрахунків авторами було визначено, що динамічний хід підвіски значно збільшився. У БТР-90 він складав 185 мм, а у «Бумеранг» зріс до 212 мм [27].



Рис. 3. Фото «Бумеранга», що були використані (для ілюстрації):

а і б – зовнішній вигляд; в – е – вигляд ходової частини

Для порівняння, вітчизняний БТР-4 має динамічний хід підвіски 133 мм, який було збільшено зі 110 мм (рівень БТР-70) за рахунок зменшення статичного ходу, що не є корисним. Повний же хід залишився на старому рівні – 220 мм. Таким чином, за динамічним ходом підвіски, який є одним із визначальних параметрів для забезпечення високих показників рухливості, вітчизняний БТР-4 суттєво відстає від світового рівня та програє російським

БТР-90 і тим паче «Бумерангу», у яких динамічний хід підвіски є більшим відповідно на 39% та 59%.

Прохідність – визначається питомим тиском на ґрунт, потужністю двигуна та кліренсом машини, які своєю чергою залежать від типів рушя, двигуна, трансмісії та СП. Прохідність поділяється на опорно-зчипну та геометричну. У свою чергу, геометрична прохідність визначається компоновкою машини, конструкцією ХЧ та наявністю СРПК. Крім

того, показник прохідності враховує і водохідні властивості машини. СП здійснює функціональний вплив на геометричну прохідність через кінематичну схему підвіски, величину повного ходу, величину кліренсу та можливість його регулювання, а також через запобігання ударів корпусом об міжколійний простір шляхом зменшення амплітуд коливань.

Перспективна БММ, що розроблюється DARPA за програмою GXV-T (США), має нетрадиційну кінематичну схему підвіски, що дозволяє суттєво підвищити рухливість на місцевості, моментально адаптуючись до змін ландшафту. Ця підвіска у звичайному режимі має динамічний хід лише 150 мм. Коли ж відбувається рух по глибоко пересіченій місцевості, з високими швидкостями, підвіска переводиться у режим з повним ходом 1830 мм (1070 мм – вгору та 760 мм – вниз) і може подолати 95% будь-яких перешкод, утримуючи корпус в горизонтальному положенні, включаючи гірську місцевість, штучні перепони, нагромадження каміння, валуни, завали, крутояри, тощо. Це повинно забезпечити суттєві переваги перед противником у маневрі при виконанні бойових задач.

Автономність – визначається здатністю пересуватися без додаткових засобів, тобто паливо-заправників, ремонтно-евакуаційних машин тощо. Характеризується запасом ходу (питомими витратами палива та кількістю палива на борту), ресурсом вузлів та періодичністю технічного обслуговування. СП здійснює функціональний вплив на запас ходу (питомі витрати палива, які залежать від втрат у ДП), ресурс вузлів та періодичність технічного обслуговування.

Як показали теоретичні і експериментальні дослідження, для забезпечення необхідної плавності ходу у важких дорожніх умовах, на резонансних режимах руху ДП важких БММ повинні поглинати та розсіювати у навколишній простір по 7 кВт енергії на тонну ваги машини [28]. Це призводить до збільшення витрат палива, зниження рухливості (запасу ходу, а отже, автономності) та погіршення інших експлуатаційних показників. При наближенні до резонансних швидкостей амплітуди коливань і втрати у ДП зростають настільки, що потужності двигуна може не вистачити, щоб їхати швидше.

Одним із перспективних напрямів покращення показників рухливості та зниження втрат у ДП є застосування фрикційних амортизаторів (ФА) замість ГА. Стосовно гусеничних машин це питання було розглянуто у роботі [4].

У свою чергу, дослідження авторами застосування ФА на БММ колісної формули 8x8 з торсіонною підвіскою показало, що при збереженні або порівняно незначному погіршенні плавності ходу ФА, у порівнянні з ГА, поглинають значно меншу (у 1,76...2,3 рази) потужність. Це говорить про

зменшення навантаженості вузлів підвіски та можливість підвищення економічності (автономності) і збільшення періодичності технічного обслуговування підвіски [29]. Крім того, ФА, у порівнянні з ГА, забезпечили набагато більш рівномірну навантаженість крайніх підвісок, що підвищить їх ресурс та надійність, а внаслідок превалювання вертикальних коливань підресореного корпусу над поздовжньо-кутовими підвищиться і геометрична прохідність машини. Переваги ФА пояснюються залежністю їх опору від ходу підвіски, а не від швидкості його зміни, як у ГА, що не сприяє розгойдуванню корпусу машини на деяких режимах.

Головним чинником, який заважав реалізації переваг ФА у разі їх застосування в підвісці цієї БММ, є її недостатній хід. Необхідне суттєве, до 2-х разів, збільшення повного та динамічного ходів підвіски до рівня, відповідно, 450...500 мм та 300...350 мм. [29]. Однак це спричиняє значні труднощі і потребує суттєвих переробок корпусу та трансмісії. Рішенням цієї проблеми є застосування гібридної силової установки та мотор-коліс.

Одним із напрямів, за допомогою якого розробники БТТ та БММ тривалий час намагаються вирішити проблему зменшення втрат у СП, є застосування керування характеристиками ПЕ, ДП та кінематикою підвіски з метою зменшення збурення коливань підресореного корпусу. Однак внаслідок складності та високої вартості, як вже згадувалося, він поки що не отримав широкого розповсюдження.

Саме тому сьогодні розробники ТЗ дедалі більше приділяють увагу новому перспективному напрямку підвищення їх економічності, а саме розробці і застосуванню різноманітних систем рекуперації енергії, що поглинається у ДП підвіски.

Оцінку потенціалу такої системи рекуперації, дано у роботі [30]. Його визнано великим. Стверджується, що її ККД в середньому складає 50%. Розглянуто різні способи рекуперації та зроблено висновок, що впровадження системи рекуперації енергії в традиційну підвіску може підвищити коефіцієнт використання енергії ТЗ та покращити їх комплексні характеристики.

У роботі [31] авторами було досліджено втрати у ГА СП БТР-4 при русі у різних дорожніх умовах і режимах руху та зроблено наступні висновки:

- потужності, що поглинаються ГА, починаючи зі швидкості 20 км/год, різко зростають в усіх дорожніх умовах;

- сумарна максимальна потужність, що поглиналася ГА, залежно від швидкості руху та дорожніх умов, складала 2,1...19,5 кВт або 0,57...5,3 % від максимальної потужності двигуна. Тобто, навіть у цих недостатньо енергоємних ГА безповоротно втрачається значна частина енергії двигуна;

- найбільш навантаженими в усіх дорожніх умовах та режимах руху виявилися ГА 1-ї підвіски, які залежно від швидкості руху та дорожніх умов, поглинали максимальну потужність у 1,5...6,0 раза більшу за ГА 4-ї підвіски і у 1,5...12,0 раза більшу за ГА 2-ї та 3-ї підвісок;

- ГА 1-х підвісок обох бортів залежно від дорожніх умов і режимів руху поглинали потужність, яка складала 34,87...57,14 % від загальної потужності, яка поглиналася ГА усіх підвісок. Таким чином, систему рекуперації можливо застосувати лише на 1-х підвісках. З урахуванням ККД = 0,5 ця система рекуперації дозволить виробляти кількість енергії, порівнянну з енергією штатного генератора номінальною потужністю 4,2 кВт;

- необхідна плавність ходу БТР-4 в усьому діапазоні швидкостей забезпечувалася лише при русі у легких дорожніх умовах. У важких дорожніх умовах необхідна плавність ходу забезпечувалася лише до швидкості 20 км/год, що говорить про необхідність суттєвого удосконалення підвіски, у тому числі значного, у декілька разів, підвищення потужностей, які поглинаються ГА, що для їх звичайних конструкцій є неможливим. У свою чергу, застосування системи рекуперації дозволить вирішити цю проблему, не побоюючись перегріву та виходу з ладу ГА;

- в результаті проведених досліджень на прикладі БТР-4 було обґрунтовано доцільність розробки та застосування у підвісці ББМ системи рекуперації енергії того чи іншого типу, яка за умови комплексного удосконалення підвіски зможе повертати для подальшого використання до 15...20 % від максимальної потужності двигуна. Це, в остаточному підсумку, дозволить суттєво покращити такі показники рухливості, як динамічність, плавність ходу та автономність, що особливо актуально у разі застосування гібридної силової установки та електро-трансмсії.

Тим не менш, сьогодні відсутня методологія оцінки впливу застосування системи рекуперації енергії ДП на складові ТТХ ББМ та потенціалу їх підвищення. Першим кроком у цьому напрямку є робота авторів [32], де розглянуто методику розрахунку впливу СП на автономність ББМ. Важливим є те, що окрім економії палива застосування системи рекуперації енергії ДП підвіски ББМ дозволить автоматично вирішити ще одну, згадану вище, актуальну проблему, яка полягає у високій тепловій напруженості ДП. Чим більша вага ББМ та вища її середня швидкість на місцевості, тим складніше вирішення цієї проблеми. Застосування системи рекуперації дозволить перетворювати енергію, що циркулює у підвісці, не на тепло, а на інший вид корисної енергії з її подальшим використанням. Разом ці фактори покращать не тільки економічність

та автономність, а і такий показник рухливості, як середня швидкість руху на місцевості та інші важливі складові ТТХ.

Одним із вагомих питань, яке на сьогодні теж практично не досліджено, є забезпечення відповідності та погодження характеристик системи рекуперації з характеристиками необхідного демпфірування у підвісці. Складність полягає у тому, що відомі типи систем рекуперації (електричні, гідравлічні, пневматичні, інерційно-механічні) внаслідок особливостей своїх ФПД і ТР можуть мати характеристики залежності опору від переміщення та швидкості переміщення робочих органів, які далекі від раціональних або оптимальних у сенсі забезпечення необхідних параметрів плавності ходу.

У свою чергу, використання того чи іншого ФПД ДП (ГА або ФА) принципово впливає на вибір системи рекуперації у разі її застосування. Функціонування переважної більшості відомих типів системи рекуперації енергії, що поглинається ДП підвіски, пов'язане саме зі швидкістю переміщення робочих органів, а не з самим переміщенням. Тому при застосуванні ФА в якості ДП підвіски виникне необхідність пошуку принципово нових рішень реалізації цих систем.

III. Захищеність.

Визначається прямими і непрямими заходами щодо її забезпечення.

Прямі заходи – безпосередньо забезпечують захист при попаданні уражаючих елементів та дії факторів ядерної, хімічної або іншої зброї. Це: пасивний захист – постійний, модульний знімний; динамічний захист – використання вбудованих у комбіновану броню або навісних зарядів вибухової речовини; активний захист – знешкодження будь-яким способом уражаючих елементів, що підлітають; протимінний захист – посилення бронювання та використання спеціальної форми корпусу знизу, захист від зброї масового ураження. СП здійснює вплив на протимінний захист за рахунок забезпечення спеціальної форми корпусу у поєднанні з необхідною кінематичною схемою підвіски.

Вітчизняні ББМ мають прямокутну форму нижньої частини корпусу, що погіршує протимінний захист машини та не дозволяє збільшити довжину важелів підвіски, щоб збільшити її динамічний хід. У цьому вони програють найкращим світовим зразкам і російським БТР-90 та «Бумеранг», які мають V-подібне днище та довші важелі підвіски.

Непрямі заходи – такі, що конструктивними, тактичними або іншими засобами або діями екіпажу унеможливають або зменшують вірогідність попадання уражаючих елементів. До них відносять: системи активної протидії – димову, оптико-електронну, радіотехнічну; системи маскування – в оптичній, інфрачервоній, радіолокаційній та акустичній частинах спектру.

Підвищення показників захищеності за допомогою традиційних заходів, як правило, призводить до збільшення ваги ББМ, що знижує середню швидкість машини на місцевості й збільшує імовірність ураження.

СП здійснює вплив, зменшуючи вірогідність попадання елементів, що уражають, шляхом забезпечення високої мобільності, маневреності та ухилення корпусом, а також покращення маскування в оптичній (зниження силуету за рахунок СРПК) та інфрачервоній (зниження нагріву ДП) частинах спектру.

Висновки

1. Встановлено функціональний взаємозв'язок між досконалістю системи підресорювання, взаємопогодженням її характеристик з характеристиками комплексів озброєння, силової установки і трансмісії та підвищенням показників основних груп тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин.

2. Проведено аналіз основних чисельних показників, що характеризують вогневу могутність, рухливість та захищеність, їх досягнутий світовий рівень та встановлено, що система підресорювання має високий потенціал у їх подальшому підвищенні.

3. Сформульовано головні напрями розвитку системи підресорювання, які принципово вплинуть на забезпечення виконання сучасних і перспективних оперативних-тактичних вимог та призведуть до суттєвого зростання тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин. Це: застосування гідропневматичних підвісок, впровадження нетрадиційних систем керування характеристиками вузлів підвіски на основі використання «інтелектуальних» матеріалів, зокрема магніторологічних еластомерів, застосування фрикційних амортизаторів та нових кінематичних схем підвіски зі значно збільшеним динамічним ходом, а також застосування систем рекуперації енергії демпфірувальних пристроїв підвіски.

Список літератури

1. Кабінет Міністрів України. Розпорядження № 398-р від 14 червня 2017 року. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період. URL:

<https://www.kmu.gov.ua/npas/250071205>.

2. Візія Генерального штабу ЗС України щодо розвитку Збройних Сил України на найближчі 10 років. URL: <https://www.mil.gov.ua/special/news.html?article=55107>

3. Калінін О.М., Костюк В.В., Будяну Р.Г. Визначення показників основних груп оперативних-тактичних вимог для створення колісних бойових броньованих машин. *Військово-технічний збірник*. НАСВ: Львів, 2015. Вип. 12. С. 22 – 26.

4. Дущенко В.В. Системи підресорювання військових гусеничних і колісних машин: розрахунок та синтез. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. 336 с.

5. Подригало М. А., Соколовський С.А, Кайдалов Р. О. та ін. Обґрунтування вимог до тактико-технічних та експлуатаційних характеристик автомобілів та бойових машин Національної гвардії України : монографія. Харків: НАНГУ, 2017. 348 с.

6. Чепков І.Б., Нор П.І. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 1. С. 4–13.

7. Чепков І.Б., Бойко Г.О., Васківський М.І. Деякі питання стану, основних напрямків і тенденцій розвитку танків. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 4. С. 11–15.

8. Бойко Г.О., Бісик С.П. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 3. С. 20–24.

9. Василенко О.В., Дущенко В.В. Перспективні напрями розвитку систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин. *Механіка та машинобудування*. 2009. № 1. С. 163–174.

10. <https://www.dsnews.ua/future/shustrye-i-neulovimye-pentagon-pridumal-asimmetrichnyy-04072018220000>.

11. <https://newatlas.com/darpa-gxv-t-demonstration-military-vehicle-technology/55198/>

12. <https://www.darpa.mil/>

13. Теория и конструкция танка: [в 10 т.]. / [под ред. П.П. Исакова]. М.: Машиностроение, Т. 1: Основы системы управления развитием военных гусеничных машин. 1982. 212 с.

14. Гендугов В.М., Озеров Б.И., Ругаль Н.М. Критерий эффективности подвески танка. *Вестник бронетанковой техники*. 1980. № 6. С. 29–30.

15. Александров А.А., Блинов В.П., Лаврищев Б.П. и др. Влияние колебаний корпуса танка на рассеивание снарядов при стрельбе с ходу. *Вестник бронетанковой техники*. 1988. № 1. С. 22–24.

16. Зименс Г.Г. Повышение точности наводки танковой пушки при стрельбе с ходу. *Вестник бронетанковой техники*. 1990. № 3. С. 14–15.

17. Абрамов В.А., Бродский Л.Е., Кутузов В.К. и др. Повышение точности стабилизации пушки за счет активной подвески военной гусеничной машины. *Вестник бронетанковой техники*. 1986. № 2. С. 5–7.

18. Федоров В.А. и др. Анализ перспектив использования в ходовой части военных гусеничных машин управляемых систем поддресоривания. Киев: деп. в в/ч 11520 01.11.90, № А-23554, 1990. 64 с.

19. <https://sundries.ua/elektromahnitna-pidviska-avtomobilia-revoliutsiinyi-vynakhid-shcho-vyperedyv-chas/>

20. <https://www.kolesa.ru/article/fenomen-bose-pochemu-luchshaya-v-mire-podveska-do-sih-por-ne-stala-serijnoj>

21. Федоров В.А., Федоров С.А. Повышение эффективности магниторологических амортизаторов и предложения по их использованию в управляемых системах поддресоривания военных гусеничных машин. Киев, 1990. 78 с. Деп. в в/ч 11520 21.01.1991. №А-23634.

22. Choi S.-B., Seong M.-S., Kim K.-S. Vibration control of an electrorheological fluid-based suspension system with an energy regenerative mechanism. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2009. № 223 (4), pp. 459–469. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544070jauto968>

23. Наука упругости. *За рулем*. 2007. №. 10. С. 322–326.

24. Дущенко В.В., Маслієв В.Г., Нанівський Р.А., Маслієв А.О. Застосування магніторологічних еластомерів для керування характеристиками систем підресорювання колісних транспортних засобів. *Електротехніка і електромеханіка*. Харків, 2019. № 5. С. 50-59. DOI: 10.20998/2074-272X.2019.5.09.

25. Дмитриев А.А., Чобиток В.А., Тельминов А.В. Теория и расчет нелинейных систем поддресоривания гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1976. 207 с.

26. <http://bastion-karpenko.ru/boomerang/> ВТС «БАСТИОН» А.В.Карпенко.

27. Дущенко В.В., Маслієв А.О., Ярмак О.М. та ін. Спецтема. *Механіка та машинобудування*. 2017. № 2. С. 76–88.

28. Обзоров В.С., Стамбровский А.С., Шадов Б.Н. Развитие систем поддресоривания танков. *Зарубежная военная техника. Бронетанковая техника и вооружение. Обзоры*. М.: 1984. Вып. 2. С. 54–62.

29. V. Dushchenko, S. Vorontsov, V. Masliyev, O. Agarov, R. Naniivskiy, Y. Cherevko, A. Masliyev. Comparing the physical principles of action of suspension damping devices based on their influence on the mobility of wheeled vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4, N 5 (112). P. 51-60. DOI:10.15587/1729-4061.2021.237312.

30. Xueying, L., Yanju, J., Huanyu, Z., Jiabao, Z., Guanyu, Z., Liu, Z. Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System, 2020. № 13, p. 441. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13020441>

31. Дущенко В.В., Воронцов С.М., Нанівський Р.А. Дослідження втраг енергії у гідроморгизаторах підвіски бронетранспортера БТР-4 та оцінка доцільності застосування системи її рекуператії. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2020. Вип. 23. С. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.40-49>

32. Дущенко В.В., Нанівський Р.А., Маслієв В.Г., Агапов О.М., Маслієв А.О. Методика розрахунку впливу системи підресорювання на автономність бойової броньованої машини. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2023. Вип. 28. С. 18–25. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023>

References

1. The directive of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), "Rozporядzhennya KМУ vid 14 chervnya 2017 roku №. 398-r "Pro skhvalennya Osnovnykh napriamiv rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki na dovhostrokovyi period" [The directive of June 14, 2017 №398-p "On the approval of the main directions of the development of weapons and military equipment for the long term period"]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/250071205> (Accessed 2 September 2024). [in Ukrainian].

2. The vision of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, "Viziia Heneralnoho shtabu ZS Ukrainy shchodo rozvytku Zbroinykh Syl Ukrainy na naiblizhchi 10 rokiv" [The vision of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine regarding the development of the Armed Forces of Ukraine for the next 10 years]. URL: <https://www.mil.gov.ua/special/news.html?article=55107> (Accessed 2 September 2024). [in Ukrainian].

3. Kalinin O.M., Kostyuk V.V. and Budianu R.H. (2015). "Vyznachennia pokaznykiv osnovnykh hrup operativno-taktychnykh vymoh dlia stvorennia kolisnykh boiovykh

broniovanykh mashyn" [Determination of indicators of the main groups of operational and tactical requirements for the creation of wheeled combat armored vehicles]. *Military Technical Collection*. Lviv, 2015. Issue №12, pp. 22–26. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.22-26> (Accessed 2 September 2024). [in Ukrainian].

4. Dushchenko V.V. (2018), "Systemy pidresoriuvannia viiskovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn: rozrakhunok ta syntez" [Suspension systems of military tracked and wheeled vehicles: calculation and synthesis]. Kharkiv: NTU 'KPI', 2015. 336 p. (Accessed 2 September 2024). [in Ukrainian].

5. Podryhalo M.A., Sokolovskiy S.A. and Kaidalov R.O. (2017), "Obhruntuvannia vymoh do taktyko-tekhnichnykh ta ekspluatatsiinykh kharakterystyk avtomobiliv ta boiovykh mashyn Natsionalnoi hvardii Ukrainy" [Justification of requirements for tactical, technical and operational characteristics of cars and combat vehicles of the National Guard of Ukraine]: monograph, Natsionalna akademiia NGU, Kharkiv: 348 p. [in Ukrainian].

6. Chepkov I.B. and Nor P.I. (2014), "Zahalni tendentsii rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki" [General trends in the development of weapons and military equipment]. *Armament and military equipment*. Kyiv, 2014, Issue № 1, pp. 4–13. DOI:10.34169/2414-0651.2014.1(1).4-13 (Accessed 2 September 2024). [in Ukrainian].

7. Chepkov I.B., Boiko H.O. and Vaskivskiy M.I. (2014), "Deiaki pytannia stanu, osnovnykh napriamkiv i tendentsii rozvytku tankiv" [Some issues of the status, main directions and trends of tank development]. *Armament and military equipment*. Kyiv, 2014, Issue № 4, pp. 11–15. [in Ukrainian].

8. Boiko H.O. and Bisik S.P. (2014), "Deiaki dani suchasnogo stanu i tendentsii rozvytku kolisnykh boiovykh broniovanykh mashyn" [Some data on the current state and trends in the development of wheeled armored combat vehicles]. *Armament and military equipment*. Kyiv, 2014, Issue № 3, pp. 20–24. [in Ukrainian].

9. Vasilenko O.V. and Dushchenko V.V. (2009), "Perspektyvni napriamky rozvytku system pidresoriuvannia viiskovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn" [Prospective directions for the development of suspension systems for military tracked and wheeled vehicles]. *Mechanics and mechanical engineering*. Kharkiv, 2009, Issue № 1, pp. 163–174. [in Ukrainian].

10. DS News (2018), "Shustrye i neulovimye: Pentagon pridumal asimmetrichny bronemashyny". URL: <https://www.dsnews.ua/future/shustrye-i-neulovimye-pentagon-pridumal-asimmetrichny-04072018220000> (Accessed 2 Sep. 2024). [in Russian].

11. New Atlas (2019), "DARPA demonstrates 6 new technologies behind the agile combat vehicles of tomorrow". URL: <https://newatlas.com/darpa-gxv-t-demonstration-military-vehicle-technology/55198/> (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].

12. DAPRA (no date). URL: <https://www.darpa.mil/> (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].

13. Isakov, P.P. (1982), "Teoriia i konstruktsiia tanka. Osnovy systemy upravleniia razvitiem voennykh husenychnykh mashyn" [Theory and construction of tank. Fundamentals of the management system for the development of military tracked vehicles]: scientific publication Moscow, Volume №1. 212 p [in Russian].

14. Henuhov V.M., Ozerov B.I. and Rugal N.M. (1980), "Kriterii effektivnosti podveski tanka" [Tank suspension efficiency criterion]. *Herald of armored vehicles*, Issue № 6, pp. 29–30 [in Russian].
15. Aleksandrov A.A., Blinov V.P. and Lavrishchev B.P. (1988), "Vliianie kolebaniy korpusa tanka na rasseivanie snariadov pri strel's'be s khodu" [The influence of the oscillating of the hull of the tank on the scattering of projectiles when firing from the move]. *Herald of armored vehicles*. Issue № 1, pp. 22–24. [in Russian].
16. Zimens G.G. (1990), "Povyshenie tochnosti navodki tankovoi pushki pri strel's'be s khodu" [Improving the accuracy of tank gun aiming when firing on the move]. *Herald of armored vehicles*. № 3, pp. 14–15. [in Russian].
17. Abramov V.A., Brodskii L.E. and Kutuzov V.K. (1986), "Povyshenie tochnosti stabilizatsii pushki za schet aktivnoi podveski voennoi husenychnoi mashiny" [Increasing the accuracy of gun stabilization through active suspension of a military tracked vehicle]. *Herald of armored vehicles*. Issue № 2, pp. 5–7. [in Russian].
18. Fedorov V.A. (1990), "Analiz perspektiv ispol'zovaniia v khodovoi chasti voennykh husenychnykh mashin upravliaemykh system podressorivaniia" [Analysis of the prospects of using controlled suspension systems in the chassis of military tracked vehicles], Kyiv. 64 p. [in Russian].
19. Sundries (no date). "Elektromagnitna pidviska avtomobilia: revoliutsiinyi vynakhid shcho vyperedyv chas" [Electromagnetic car suspension: a revolutionary invention that was ahead of its time]. URL: <https://sundries.ua/elektromagnitna-pidviska-avtomobilia-revoliutsiinyi-vynakhid-shcho-vyperedyv-chas/> (Accessed 2 Sep. 2024). [in Ukrainian].
20. Kolesa (no date). "Fenomen Bose: pochemu luchshaia v mire podveska do sikh por ne stala seriinoi" [The Bose phenomenon: Why the world's best suspension hasn't become a mass-produced product yet]. URL: <https://www.kolesa.ru/article/fenomen-bose-pochemu-luchshaya-v-mire-podveska-do-sih-por-ne-stala-seriinoi>. (Accessed 2 Sep. 2024). [in Russian].
21. Fedorov V.A. and Fedorov S.A. (1990), "Povyshenie effektivnosti magnitnoreologicheskikh amortizatorov i predlozheniia po ikh ispol'zovaniiu v upravliaemykh systemakh podressorivaniia voennykh husenychnykh mashin", Kyiv. 78 p. [in Russian].
22. Choi S.-B., Seong M.-S. and Kim K.-S. (2009), "Vibration control of an electrorheological fluid-based suspension system with an energy regenerative mechanism". *Journal of Automobile Engineering*, 2009. Issue 223 (4), pp. 459–469. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544070jauto968>. (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].
23. Nauka uprugosti (2007), *Za rulem*, № 10, pp. 322–326.
24. Dushchenko V.V., Masliyev V.H. and Nanivskiy R.A. (2019), "Zastosuvannia magnitnoreologichnykh elastomeriv dlia keruvannia kharakterystyk system pidressoriuvannia kolisnykh transportnykh zasobiv" [Application of magnetorheological elastomers to control the characteristics of suspension systems of wheeled vehicles]. *Electrical engineering and electromechanics*. № 5, pp. 50–59. DOI: 10.20998/2074-272X.2019.5.09. (Accessed 2 Sep. 2024). [in Ukrainian].
25. Dmitriev A.A., Chobitok V.A. and Tel'minov A.V. (1976), "Teoriia i raschet nelineynykh system podressorivaniia husenychnykh mashin" [Theory and calculation of nonlinear suspension systems of tracked vehicles]: scientific publication, Moscow, 207 p. [in Russian].
26. Bastion-Karpenko (no date). URL: <http://bastion-karpenko.ru/boomerang/> (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].
27. Dushchenko V.V., Masliyev A.O. and Yarmak O.M. (2017), "Spets tema" [Special topic]. *Mechanics and mechanical engineering*. Issue № 2, pp. 76–88. [in Ukrainian].
28. Obzorov V.S., Stambrovskii A.S. and Shadov B.N. (1984), "Razvitie system podressorivaniia tankov" [Development of tank suspension systems]. *Foreign military equipment. Armored vehicles and weapons*. Issue № 2, pp. 54–62. [in Russian].
29. Dushchenko V., Vorontsov S., Masliyev V., Agapov O., Nanivskiy R., Cherevko Y. and Masliyev A. (2021), "Comparing the physical principles of action of suspension damping devices based on their influence on the mobility of wheeled vehicles". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Issue №4 (5) (112), pp. 51–60. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237312. (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].
30. Xueying L., Yanju J., Huanyu Z., Jiabao Z., Guanyu Z., Liu Z. (2020), "Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System". *Energies*, Issue 13 (2), p. 441. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13020441> (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].
31. Dushchenko V.V., Vorontsov S.M. and Nanivskiy R.A. (2020), "Doslidzhennia vtrat enerhii u hidroamortyzatorakh pidvisky bronetransportera BTR-4 ta otsinka dootsilnosti zastosuvannia systemy yii rekuperatsii" [Study of energy losses in hydraulic shock absorbers of the BTR-4 armored personnel carrier suspension and evaluation of the feasibility of using a system for its recovery]. *Military-technical collection*. Lviv, Issue № 23. pp. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.40-49> (Accessed 2 Sep. 2024). [in Ukrainian].
32. Dushchenko V.V., Nanivskiy R.A., Masliyev V.H., Agapov O.M. and Masliyev A.O. (2023), "Metodyka rozrakhunku vplyvu systemy pidressoriuvannia na avtonomnist' boiovoi broniovanoi mashyny" [Methodology for calculating the influence of the suspension system on the autonomy of an armored combat vehicle]. *Military-technical collection*. Lviv, Issue №28, pp. 18–25. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023> (Accessed 2 Sep. 2024). [in English].

DEVELOPMENT OF THE SUSPENSION SYSTEM AND THEIR POTENTIAL IN IMPROVING THE TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ARMORED COMBAT VEHICLES

V. Dushchenko, R. Nanivsky

This article analyzes the improvement of the main indicators of mobility and reduction of energy losses in the damping devices of armored fighting vehicles, and also presents the use of friction shock absorbers instead of hydro shock absorbers. Increasing the protection indicators with the help of traditional measures leads to an increase in the weight of the AFV, which reduces the average speed of the vehicle on the ground and increases the likelihood of its defeat on the battlefield. The issues of ensuring compliance and coordination of the characteristics of the recuperation system with the characteristics of the required

damping in the suspension system, which exerts an impact, reducing the probability of hitting the striking elements by ensuring high mobility, maneuverability and evasion of the hull, are considered.

The functional relationship between the improvement of the suspension system, the mutual agreement of its characteristics with the characteristics of the weapon complexes, power plant and transmission and the improvement of the indicators of the main groups of tactical and technical characteristics of armored fighting vehicles has been established. Based on the analysis of development trends, the potential was assessed and the main directions of the development of the suspension system were formulated, which will fundamentally affect the fulfillment of modern and promising operational and tactical requirements and will lead to a significant increase in the tactical and technical characteristics of armored fighting vehicles. These are: the use of hydropneumatic suspensions, the introduction of non-traditional control systems for the characteristics of suspension nodes based on the use of "intelligent" materials, in particular magnetorheological elastomers, the use of friction shock absorbers and new kinematic suspension schemes with significantly increased dynamic travel, as well as the use of energy recovery systems of suspension damping devices.

Keywords: armored combat vehicle, tactical and technical characteristics, suspension system, firepower, mobility, security.

УДК 355.4, 623.626

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.20-26>

І.І. Танцюра¹, К.В. Коритченко², О.В. Стаховський³, А.О. Задорожний³

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

² Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків

³ Національний Університет Оборони, Київ

Article history: Received 01 September 2024; Revised 10 September 2024;

Accepted 04 November 2024

ОБҐРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ДО МОДЕЛІ НАГРІВАННЯ ГРАФІТНОГО ПОРОШКУ У ВИПУСКНОМУ ГАЗОХОДІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТАНКА ТИПУ Т-64Б

Робота спрямована на розширення спектру маскувальної дії аерозольної завіси, що створюється термічною димовою апаратурою танка типу Т-64Б, з видимої до дальньої інфрачервоної області електромагнітного випромінювання. Удосконалення димової апаратури танка досягається почерговим введенням графітового порошку та дизельного палива у потік відпрацьованих газів силової установки танка. Для подальшого математичного моделювання нагрівання графітного порошку у випускному газоході з метою виявлення умов щодо термічного спучення часток графіту здійснено обґрунтування граничних умов до моделі. Визначено масову витрату, термодинамічні параметри та хімічний склад відпрацьованих газів танка. Обґрунтовано масову витрату та розмір часток графіту, що необхідно подавати термічною димовою апаратурою.

Ключові слова: Т-64Б, термічна димово апаратура, графіт, що спучується, аерозольне маскування, танк.

Постановка проблеми

Спорядження танків термічною димовою апаратурою (ТДА) значно підвищує живучість бойових машин шляхом їх швидкого та ефективного маскуванню у видимому діапазоні випромінювання. Але розвиток засобів прицілювання до бойових машин та активних головок самонаведення до ракетно-артилерійських боєприпасів, які працюють у інфрачервоної області випромінювання, призвів до суттєвого зниження ефективності існуючих засобів маскуванню. Актуальним є вирішення задачі розширення спектру маскуванню ТДА. Тому робота спрямована

на удосконалення ТДА бойових машин, зокрема танків типу Т-64. Водночас розширення спектру маскуванню аерозольного складу за допомогою ТДА не проведено.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Огляд літератури щодо засобів утворення маскувальної завіси у інфрачервоному спектрі випромінювання показав, що у роботі [1] запропоновано формування маскувальної завіси з води для маскуванню техніки від ракет з головками самонаведення в інфрачервоному діапазоні випромінювання, або