

УДК 629.1.032

В.В. Дущенко, А.О. Маслієв

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

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВУЗЛАХ СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ І КОЛІСНИХ МАШИН**

*Обґрунтовано застосування інтелектуальних матеріалів у вузлах систем підресорювання перспективних і модернізованих військових гусеничних і колісних машин з метою спрощення керування їх характеристиками. На прикладі бронетранспортера БТР-4 розглянуто застосування магнітореологічних еластомірів у шарнірах підвіски, що дозволить з мінімальними витратами на впровадження та функціонування забезпечити керування її характеристиками. За допомогою методу кінцевих елементів у середовищі "Femte" проведено розрахунок магнітного ланцюга шарніра з магнітореологічного еластоміру при керуванні його модулем зсуву у необхідних межах.*

**Ключові слова:** *військові колісні і гусеничні машини, системи підресорювання, пружні елементи, демпфіруючі пристрої, керування характеристиками, інтелектуальні матеріали, магнітореологічні еластоміри, пружний шарнір, керуюче магнітне поле.*

### **Постановка проблеми**

Подальше підвищення якісних показників військових гусеничних і колісних машин (ВГКМ) за рахунок удосконалення систем підресорювання (СП) вимагає застосування керування характеристиками їх пружних елементів та демпфіруючих пристроїв. Але традиційні матеріали зі звичайними властивостями (метал, композитні матеріали, гума, еластоміри, газ, робочі рідини на основі мінеральних або синтетичних мастил), які широко застосовуються у даних вузлах, майже вичерпали свої можливості із забезпечення подальшого розвитку СП у згаданому напрямі.

Це пов'язано з незмінністю фізико-хімічних властивостей і характеристик традиційних матеріалів, що призводить до надто складних, високовартісних та ненадійних технічних рішень (ТР) і в результаті суттєво стримує впровадження керування характеристиками СП на серійних зразках ВГКМ.

Вирішити цю актуальну проблему можливо лише шляхом пошуку, створення і подальшого застосування нових альтернативних матеріалів, завдяки властивостям яких можна забезпечити легке керування з необхідною швидкістю та незначним енергоспоживанням. На сьогодні такі альтернативні матеріали відомі у світі як інтелектуальні матеріали (smart materials), дослідженню властивостей яких приділяється все більше уваги.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У роботах [1,2] автором представлено методологію пошуку нових фізичних принципів дії і ТР вузлів СП ВГКМ, розроблену на основі проведених

функціонально-фізичного і речовинно-польового аналізів. Зроблено висновки, що подальший розвиток вузлів СП має перспективу у переході від механічного поля до більш керованого електромагнітного поля та розробці нової «основної речовини» або введення «додаткової речовини», чутливої до керуючого електромагнітного поля. У роботі [3] розглянуто можливі напрями використання електромагнітного поля для керування характеристиками вузлів СП. У роботах [4,5,6] автором представлено результати досліджень з використання інтелектуальних матеріалів (сплавів з ефектом пам'яті форми та речовин, які поглинають, і речовин, що поглинаються) для регулювання кліренсу та положення підресореного корпусу ВГКМ. У роботах [7,8] проведено аналіз властивостей і характеристик магнітореологічних еластомірів (МРЕ) та оцінено можливість їх використання у вузлах керованої підвіски транспортних засобів (ТЗ) в якості пружних елементів і демпфіруючих пристроїв. При цьому, у першу чергу, оцінювалися діапазони можливого керування величинами модулів пружності, зсуву та втрат (в'язкості) МРЕ, а також енергоємність і швидкодія та наявність можливих побічних ефектів.

**Мета досліджень.** Обґрунтувати застосування МРЕ у вузлах підвіски перспективних і серійних ВГКМ із метою спрощення керування їх характеристиками та забезпечення їх нових можливостей. Провести розрахунок магнітного ланцюга системи керування при регулюванні пружної характеристики підвіски у необхідних межах.

## Виклад основного матеріалу

Проведемо аналіз сучасних тенденцій і поглядів на розвиток перспективних ВГКМ близького майбутнього. Для цього розглянемо програми і проекти, що були прийняті до виконання організаціями, які створені для забезпечення і підтримки військово-технологічної переваги за рахунок використання революційних відкриттів у галузях нано- та біотехнологій, нових матеріалів, інформаційно-комунікаційних технологій, робототехніки, генної інженерії, технологій віртуальної реальності та ін. Насамперед, це агентство DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) – агенція передових дослідницьких проектів міністерства оборони США, ФПД – фонд перспективних досліджень (Росія) та СОА – європейське оборонне агентство. Головні принципи даних організацій – не чекати майбутнього, а формувати його сьогодні, ставка на перспективні ідеї та високотехнологічні рішення, готовність йти на ризик та зазнати можливу невдачу. Саме тому одним із правил їх діяльності є застосування виключно проривних революційних технологій без всіляких модернізацій та удосконалення відомих ТР.

Найбільш відомим і потужним з них є агентство DARPA. На сьогодні ним виконується кілька програм зі створення перспективних бойових машин. Це програма Ground X-Vehicle Technology (GXV-T) – розробка невеликої за габаритами та масою, високоманевреної бойової броньованої машини (БМ), що уникає різноманітних загроз ураження в автоматичному режимі, за допомогою сенсорів та штучного інтелекту (строк 2014-2017 рр.). Програма Transformer (ТХ – позашляховик, що літає), метою якої є створення засобу пересування, який не залежить від рельєфу місцевості (строк 2010-2015 рр.). Програма FANG Challenge, (Fast, Adaptable Next-Generation Ground), що займається створенням швидкої, такої, що плаває, бойової машини піхоти, яка відповідає підвищеним функціональним вимогам (строк 2013-2017 рр.).

Окрема увага приділяється створенню безпілотних БМ (дронів). Це бойові роботи MAARS та бойова роботизована платформа RAMP (США), роботизовані штурмові дистанційно керовані комплекси «Платформа-М» та МРК-27 БТ (Росія), бронемашини проекту Future Combat Vehicle (FCV) (Південна Корея) та ін., до СП яких поки що висуваються не надто жорсткі вимоги.

Таким чином, передбачається розробка нового покоління високотехнологічних БМ, при цьому акцент робиться меншою мірою на вогневій потужності і захищеності, а більшою мірою на високій мобільності і швидкості руху по пересіченій місцевості. Заявлено, що всі інновації, зроблені за останній час в галузі танкобудування, були зосереджені на важких озброєннях, але на практиці це зробило танки менш ефективними. Тому нове покоління танків повинно

стати більш маневреним і мобільним. Спеціалісти неодноразово вказували, що важкі БМ з низькою маневреністю істотно знижують можливості розгортання військ на театрі воєнних дій. Вартість же таких бойових машин, їх розробки і технічного обслуговування виявляється досить високою. Також відзначається, що можливості протитанкових засобів розвиваються швидше за можливості засобів захисту бронетехніки.

Крім того, в армії США вважають, що бойові дії в майбутньому можуть розгортатися в мегаполісах, а проводити операції за участю важких танків М1А1 в умовах міської забудови – погана ідея. Враховуючи можливості протитанкових засобів, для таких завдань потрібні невеликі, маневрені машини.

Саме тому програма GXV-T спрямована на скорочення розмірів і маси БМ на 50%, зменшення чисельності їх екіпажу на 50%, підвищення швидкості руху на 100%, а також забезпечення руху з максимально можливими, по двигуну, швидкостями по 95% дорожніх нерівностей, що зустрічаються на пересіченій місцевості. Для зниження імовірності ураження автоматично будуть застосовуватися три методи ухилення або нейтралізації загроз: швидке прискорення або різке гальмування, ухилення різким маневром (зміни положення підресореного корпусу) і активізації додаткової активної броні в місці передбачуваного попадання. Один з варіантів такої БМ представлено на рис. 1.

Як видно з рисунка, важелі підвіски мають незалежну одну від одної велику рухомість, що забезпечує можливість руху по сильно пересіченій місцевості та регулювання кліренсу і положення підресореного корпусу машини у великих межах.

Предбачається, що у перспективних БМ істотно підвищаться мобільність і маневреність, а ймовірність виявлення і вогневого контакту з противником буде знижена. «Метою програми GXV-T є не модернізація або заміна якогось певного типу БМ, – підкреслив керівник програми GXV-T Кевін Мессі, – а знищення стереотипу забезпечення захищеності машин тільки за допомогою збільшення товщини броні і розробки нових типів захисту».



Рис. 1. Варіант високомобільної БМ проекту GXV-T

Англійська оборонна компанія "QinetiQ" на замовлення DARPA розробляє нове мотор-колесо (рис. 2), яке є частиною програми GXV-T. Воно має потужний електромотор, силову передачу і систему гальмування, які будуть розташовані усередині колісного диска діаметром 20 дюймів. Це дозволить знизити масу і створити повністю незалежні підвіски з усіма керованими колесами. Крім того, завдяки відсутності карданних валів покращиться геометрична прохідність, надійність і живучість, а хід підвіски більше не буде обмежуватися кутом перегину карданного вала.

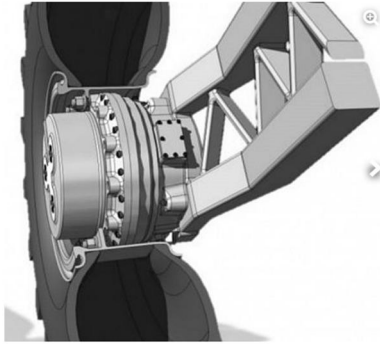


Рис. 2. Мотор-колесо для високомобільної ББМ проекту GXV-T

Аналізуючи сучасний технічний рівень, досягнутий при розробках СП ВГКМ, можна відзначити, що для повної реалізації поставлених задач з забезпечення високої мобільності та захищеності даної ББМ не підходить жодний з відомих типів підвіски. Машина повинна практично миттєво змінювати кліренс і положення підресореного корпусу, ухиляючись від обстрілу, а підвіска, виходячи з експериментальної функції розподілу висоти нерівностей по шляху [9], повинна забезпечувати мінімальну прохідну висоту нерівностей по швидкісній характеристиці СП не меншу за 300 мм, при тому, що досягнутий на сьогодні рівень для кращих зразків некерованих гідропневматичних підвісок складає лише близько 240 мм.

Найбільш придатним для застосування на перспективній ББМ, що розглядається, з відомих на сьогодні типів підвісок, є варіант активної підвіски з керованими гідроциліндрами, яка у свій час вже була виготовлена та досліджена на кількох зразках ББМ, розроблених у передових країнах. Їх випробування показали, що на функціонування такої підвіски необхідно витратити до 30% потужності двигуна, при цьому швидкодія (близько 0,1 с) все одно буде недостатньою на деяких режимах руху. Крім того, складність конструкції, її висока вага та вартість, а також низькі надійність, довговічність та ремонтпридатність не залишили даній підвісці шансів на серійне застосування.

Враховуючи те, що для високомобільної ББМ низьке енергоспоживання та висока швидкодія (близько 0,01 с) мають ключові значення, варіант такої активної підвіски можна навіть не розглядати.

Можливо, тому деякі фахівці висловлюють скепсис щодо програми СХV-T і допускають ймовірність того, що технічно зразок високомобільної ББМ може бути і не створено. Однак напрацювання, які будуть досягнуті, дозволять радикально переглянути традиційну концепцію забезпечення захисту ББМ.

Таким чином, для виконання поставлених задач необхідно розглядати створення принципово нових вузлів підвіски, що мають альтернативні фізичні принципи дії та ТР, які здатні забезпечити виконання підвищених вимог до даної ББМ. Наприклад, для регулювання кліренсу і положення підресореного корпусу машини замість гідроциліндрів у пружних елементах застосувати матеріали, що можуть під дією керуючих впливів миттєво змінювати свою жорсткість, а значить, і величини статичного та динамічного ходів підвіски. Крім того, це дозволить значно підвищити плавність ходу на пересіченій місцевості, а у разі необхідності, забезпечити блокування підвіски.

Необхідно відзначити, що проблеми, пов'язані з недосконалістю СП, виникають не лише при розробці перспективних ВГКМ, але і при модернізації існуючих зразків. Розглянемо їх на прикладі колісних бронетранспортерів БТР-3, БТР-4 і Дозор виробництва України, що мають однакову конструкцію підвіски. Це незалежна торсіонна підвіска на двох поперечних важелях, з телескопічними гідроамортизаторами (ГА), яка застосовувалася ще на бронетранспортерах БТР-60...БТР-80 радянського виробництва. Вона зображена на рис. 3.

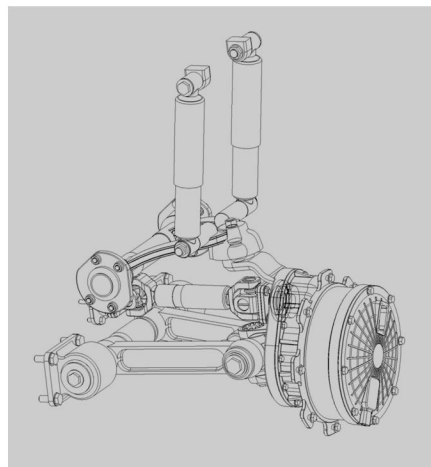


Рис. 3. Підвіска колісних бронетранспортерів виробництва України

Нижній важіль пов'язаний з торсіоном, що розташований поздовж борту машини, верхній

важіль пов'язаний з телескопічними ГА (встановлюється по два ГА на крайніх підвісках та по одному на внутрішніх). Хід підвіски обмежується буферами стиску та відбою, що взаємодіють з верхнім важелем. Обидва важелі повертаються у гумових шарнірах, які затягуються в положенні статичного ходу та помітно впливають на загальну пружну характеристику підвіски.

Недоліками даної підвіски є її недостатній динамічний хід (до 130 мм), лінійна пружна характеристика та недостатня енергоємність ГА, що призводять до незадовільної плавності ходу та зниженню середніх швидкостей руху. Це зводить нанівець зусилля з модернізації силової установки та трансмісії і не дозволяє використовувати їх можливості, що зросли, при пересуванні по ґрунтових дорогах та пересіченій місцевості з високими швидкостями.

Для подолання вказаних недоліків робилися неодноразові спроби удосконалення даної підвіски, включаючи установку пневмогідролічних ресор, з ділянкою «нульової» жорсткості на пружній характеристиці та різну кінематику їх розташування. Але це не давало суттєвого результату. Неможливість збільшення довжини важелів та кардани приводу коліс не дозволяли підвищувати динамічний хід підвіски, а значить, і її енергоємність, що знижувало ефективність усіх удосконалень. Вирішити дані проблеми можна лише шляхом застосування керування характеристиками підвіски, при цьому необхідно позбутися недоліків традиційних ТР реалізації керування.

Таким чином, виникла необхідність розробки системи керування характеристиками підвіски, з використанням альтернативних ТР при забезпеченні мінімальних змін у конструкції підвіски та приводу коліс.

Виходячи з проведених функціонально-фізичного і речовинно-польового аналізів було зроблено висновок, що одним із шляхів вирішення як актуальних проблем перспективних високомобільних ББМ, так і проблем суттєвої модернізації сучасних ВГКМ, є використання у вузлах підвіски принципово нових матеріалів, а саме інтелектуальних матеріалів.

На сьогодні такими називають матеріали, які можуть змінювати свої фізико-хімічні властивості у відповідь на керуючі впливи або оточуюче середовище, що змінюється. Їх особливістю є здатність перетворювати один вид енергії в інший (механічну у теплову, електричну, магнітну або хімічну та навпаки), що може бути використано у вузлах підвіски, які керуються. Використання інтелектуальних матеріалів дозволить суттєво спростити конструкцію вузла, що підвищить його надійність, довговічність та ремонтпридатність за

рахунок зменшення кількості елементів, які взаємодіють між собою.

На цей час відомі такі інтелектуальні матеріали, як п'єзокристали, сплави з пам'яттю форми, магнітореологічні і магнітострикційні матеріали та речовини, які поглинають, і речовини, що поглинаються при хімічній активації [10].

У загальному випадку магнітореологічні речовини складаються з магнітних частинок розміром приблизно від 10 нм до 50 мкм (тобто "додаткової речовини"), що знаходяться в діамантній або парамагнітній матриці ("основній речовині"), в залежності від стану якої відрізняють магнітореологічні рідини, піни, гелі та еластомери. Магнітна взаємодія між частинками залежить від наявності та напрямку їх намагніченості, розподілу у просторі, орієнтації зовнішнього магнітного поля та розподілу деформацій.

МРЕ являють собою композити, в яких магнітні частинки розподілені у твердій еластомерній матриці, що полімеризується у формі. В якості матриці можуть застосовуватися натуральні або синтетичні гуми, силікон, поліуретан та ін. В результаті магнітні властивості, що виникають при взаємодії частинок, поєднуються з пружними та демпфуючими властивостями матриці, а загальні властивості оборотно можуть змінюватися під дією зовнішнього керуючого магнітного поля.

На сьогодні відомі демпфуючі пристрої підвіски ТЗ, де застосовуються магнітореологічні рідини. Однак їх широкому впровадженню заважають такі недоліки, як осідання магнітних частинок з плином часу та високий абразивний знос пар тертя, що викликаний ними. МРЕ повністю позбавлений цих недоліків. При цьому зберігається можливість взаємодії магнітних частинок між собою у керуючому магнітному полі, повністю усувається зміна структури матеріалу та абразивний знос вузла. Під дією магнітного поля можна змінювати не лише модуль пружності та зсуву, а і модуль втрат (в'язкість) МРЕ. Дані властивості у перспективі можуть дозволити розробити принципово нові пружні елементи та демпфуючі пристрої підвіски ВГКМ, розташовані в одному вузлі, і ці питання зовсім не досліджено.

У роботах [7,8] автором було розглянуто принципову можливість використання МРЕ у вузлах підвіски ТЗ та зроблено наступні висновки.

1. Дослідження МРЕ знаходяться у початковій стадії: розроблено стенди та проведені дослідження, які більшою мірою стосуються електричних і магнітних параметрів. Недостатньо досліджено значні деформації МРЕ, ресурсні показники, стабільність характеристик, енергоспоживання, вплив на працездатність температури, вологості та інші зовнішні умови.

2. Проведений аналіз діапазону зміни модулів пружності та зсуву показав можливість застосування МРЕ в якості пружних елементів підвіски ТЗ, з характеристиками, що керуються (зростання згаданих модулів, в залежності від зростання МРЕ, складає від 25% до 10 і більше разів).

3. Виходячи із можливого діапазону зміни модуля втрат та швидкодії МРЕ мають перспективу застосування у демпфіруючих пристроях підвіски ТЗ, що керуються. Шляхом керування магнітним полем, в залежності від розміру та концентрації магнітних частинок, можна змінювати енергію, що поглинає МРЕ (модуль втрат) від 4 до 18 і більше разів. Чим більші розмір і концентрація магнітних частинок та більше індукція магнітного поля, тим більший модуль втрат.

4. Результати досліджень МРЕ показали, що їх модуль пружності у 4...5 разів переважає модуль втрат, тобто пружні властивості МРЕ домінують над демпфіруючими.

5. Залишається малодослідженим питання швидкодії, яке є важливим при застосуванні МРЕ у демпфіруючих пристроях підвіски ТЗ, що керуються. Швидкодія залежить від співвідношення в'язких та пружних властивостей МРЕ. Тим не менш, відомо, що швидкодія керування за допомогою накладання електромагнітного поля на порядок більша за швидкодю механічних пристроїв.

6. Необхідно провести дослідження щодо матеріалу матриці ( гума, силікон, поліуретан чи ін.), який би найбільше задовольняв вимогам застосування МРЕ у вузлах підвіски ТЗ.

7. Необхідно сформулювати чіткі вимоги до фізико-хімічних властивостей і характеристик МРЕ, з врахуванням специфіки їх експлуатації в якості пружних елементів підвіски ТЗ.

Враховуючи дані висновки, розглянемо можливість застосування МРЕ у двокапильній підвісці українських бронетранспортерів, з метою керування її пружними та демпфіруючими характеристиками. Для цього замінимо звичайні гумові шарніри підвіски на шарніри з МРЕ і будемо керувати їх модулем зсуву, шляхом накладання керуючого магнітного поля. При цьому збережено торсіон, який можна зробити зменшеної жорсткості, і у разі виходу системи керування із ладу підвіска перетвориться у звичайну і машина не втратить здатності рухатися.

Таким чином, конструкція підвіски з шарнірами з МРЕ, що пропонується, забезпечить максимальну уніфікацію з серійною підвіскою бронетранспортерів БТР-3, БТР-4 та Дозор і не буде потребувати її значної переробки. Один з можливих варіантів конструкції шарніра з МРЕ показаний на рис. 4.

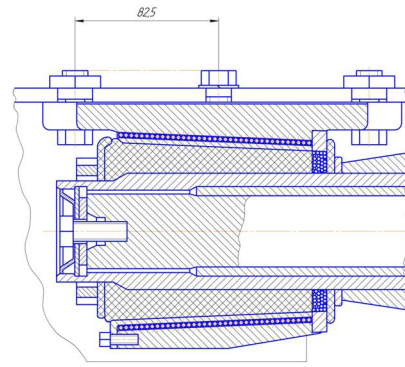


Рис. 4. Варіант конструкції шарніра підвіски з МРЕ

Відомо, що за вимогами до плавності ходу власні частоти коливань підресореного корпусу машини повинні лежати у межах 0,8...2,0 Гц. Це забезпечується відповідною жорсткістю підвіски. На рис. 5 наведено межі зміни пружної характеристики підвіски БТР-4 та власне сама характеристика з врахуванням звичайних шарнірів та шарнірів із МРЕ із збільшеним на 50% модулем зсуву. Таким чином, за допомогою керування величиною даного модуля можна забезпечити необхідну у даний момент загальну жорсткість підвіски у заданих межах.

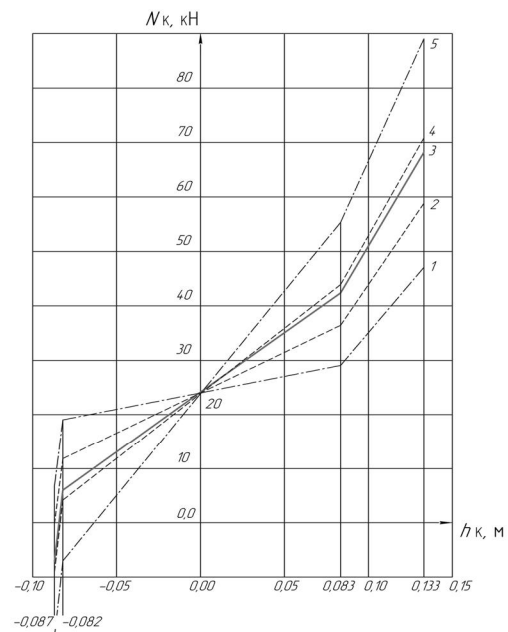


Рис. 5. Пружні характеристики підвіски БТР-4:

- 1, 5 – характеристики, що відповідають власним частотам коливань 0,8 та 2,0 Гц;
- 2 – характеристика, яку забезпечує торсіон;
- 3 – характеристика з врахуванням гумових шарнірів;
- 4 – характеристика з врахуванням шарнірів із МРЕ із збільшеним на 50% модулем зсуву

Для дослідження магнітних полів, що створюються у шарнірах із МРЕ, та вибору їх раціональної конструкції було застосовано метод кінцевих елементів з використанням середовища "Fempe". Вихідними даними для розрахунку були

креслення об'єкта, фізичні характеристики матеріалів складових магнітного ланцюга та магніторушійна сила. На рис. 6 для одного з варіантів конструкції шарніра наведено приклад розрахунку магнітного ланцюга, де можна побачити магнітний потік  $A$ , повну індукцію  $B$  та її складові за осями  $x$  та  $y$ , напруженість  $H$  магнітного поля, енергію  $E$ , що накопичена магнітним полем котушки та щільність току  $J$  у дроті котушки МРЕ шарніра.

За результатами проведених досліджень було розроблено конструкцію шарніра з МРЕ та вибрано матеріали для виготовлення МРЕ. За застосуванням

та конструкцією шарнірів з МРЕ було подано дві заявки на патент України.

Попередній розгляд показав, що енергоспоживання даної системи керування буде суттєво залежати від конструкції шарніра, матеріалів, які використовуються при виготовленні МРЕ, та величини необхідного збільшення модуля зсуву. Ці питання потребують окремого детального дослідження. З опублікованих джерел, де розглянуто дослідження властивостей МРЕ та їх використання в інших технічних об'єктах, можна зробити висновок, що у даному випадку енергоспоживання повинно лежати у прийнятних межах.

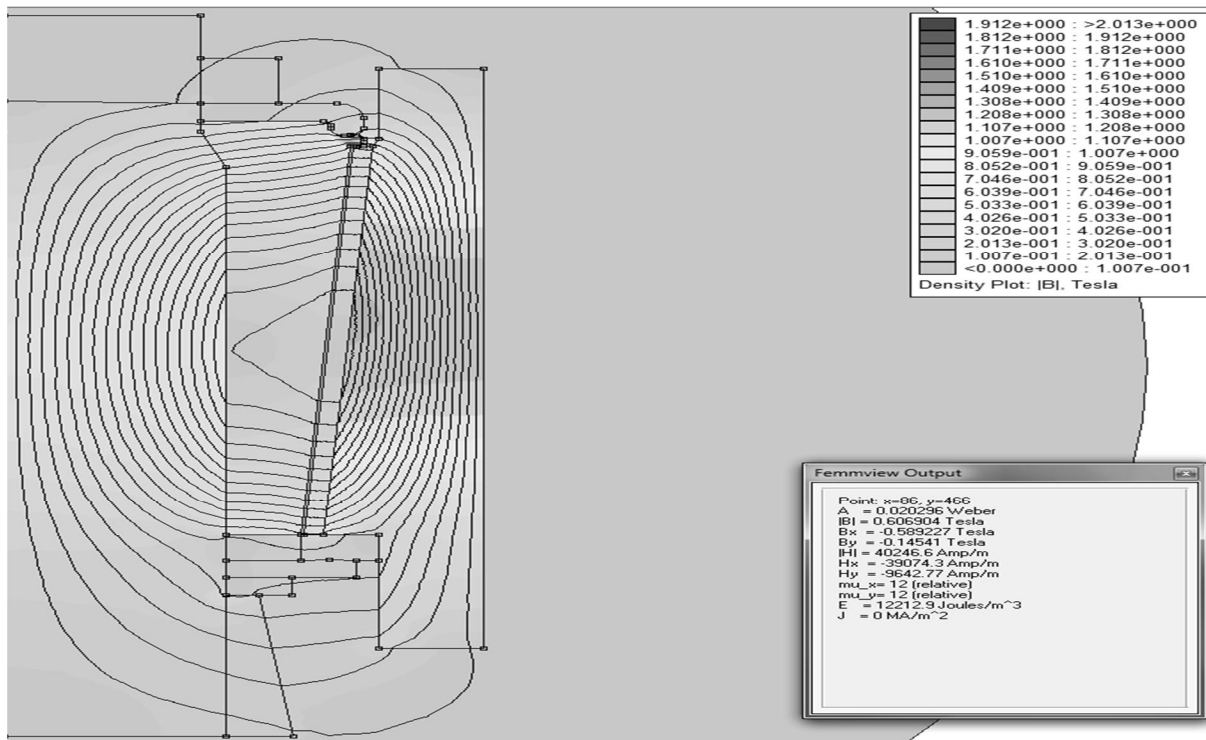


Рис. 6. Приклад розрахунку магнітного ланцюга для одного з варіантів конструкції шарніра за програмою "Femme"

## Висновки

У результаті проведених досліджень обґрунтовано застосування МРЕ у вузлах підвіски перспективних і серійних ВГКМ, з метою спрощення керування їх характеристиками та забезпечення їм нових можливостей. На прикладі пружних шарнірів підвіски бронетранспортера БТР-4 представлено застосування шарнірів із МРЕ для реалізації керування жорсткістю підвіски. Розраховано пружні характеристики підвіски та проведено розрахунок магнітного ланцюга шарніра при керуванні величиною його модуля зсуву, а відповідно, і жорсткості підвіски у необхідних межах.

## Список літератури

1. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники /

Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.В. Дуценко [и др.]; – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – 354 с.

2. Дуценко В.В. Питання удосконалення методології аналізу та синтезу систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин / В.В. Дуценко // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. Львів, – 2012. – Вип. 1. – С. 26–32.

3. Дуценко В.В. Использование электромагнитного поля для управления характеристиками узлов подвески транспортных средств / В.В. Дуценко, Н.И. Кумосин // Автомобильный транспорт. Сб. науч. тр. ХНАДУ. – 2011. – Вип. 28. – С. 27–31.

4. Пат. 37869 на корис. мод., Україна, МПК В60G 17/015. Система регулювання положення корпусу транспортного засобу / Дуценко В.В., Щербина О.О.; заявник і патентовласник Нац. Техн. Ун-т „Харків-ї політехн. ін-т”. – № 200809281; заявл. 16.07.08; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23.

5. Дуценко В.В. До питання використання ефекту адсорбції у системах регулювання положення підресореного

корпусу транспортних засобів / В.В. Дущенко, О.М. Коц // Вісник НТУ „ХПІ”. Сб. наук. праць. Транспортне машинобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 38–43.

6. Дущенко В.В. Попередній розрахунок енергоспоживання системи регулювання положення корпусу транспортного засобу на основі використання ефекту адсорбції / В.В. Дущенко, І.В. Мусницька, О.М. Коц // Механіка та машинобудування. – 2010. – №1. – С. 108–113.

7. Дущенко В.В. Оцінка можливості використання магнітореологічних еластомерів в якості пружних елементів підвіски транспортних засобів / В.В. Дущенко, О.М. Агапов // Вісник НТУ „ХПІ”. Сб. науч. трудов. Автомобіле- і тракторобудування – 2015. – Вип. 8. – С. 121–126.

8. Дущенко В.В. До питання використання магнітореологічних еластомерів в якості демпфуючих

пристроїв підвіски транспортних засобів / В.В. Дущенко, О.М. Агапов // Вісник НТУ „ХПІ”. Сб. науч. трудов. Автомобіле- і тракторобудування – 2015. – Вип. 9. – С. 108–113.

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

10. Новые интеллектуальные материалы / Р. Бхавсар, Н. И. Вайдья, П. Гангули, [и др.] // Нефтегазовое обозрение. – 2008 (весна). – Том 20. – № 1. – С. 38–49.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Д.В. Волонцевич, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

### Использование интеллектуальных материалов в узлах систем поддресоривания перспективных военных гусеничных и колесных машин

В.В. Дущенко, А.О. Маслиев

Обосновано применение интеллектуальных материалов в узлах систем поддресоривания перспективных и модернизируемых военных гусеничных и колесных машин с целью упрощения управления их характеристиками. На примере бронетранспортера БТР-4 рассмотрено применение магнитореологических эластомеров в шарнирах подвески, что позволит с минимальными затратами на внедрение и функционирование обеспечить управление ее характеристиками. С помощью метода конечных элементов, в среде "Femte" проведен расчет магнитной цепи шарнира с магнитореологического эластомера при управлении его модулем сдвига в необходимых пределах.

**Ключевые слова:** военные колесные и гусеничные машины, системы поддресоривания, упругие элементы, демпфирующие устройства, управления характеристиками, интеллектуальные материалы, магнитореологични эластомеры, упругий шарнир, управляющее магнитное поле.

### Use of materials intelligent systems at the nodes cushioning prospective military tracked and wheeled vehicles

V. Dushchenko, A. Masliev

Application materials Obosnovano yntellektualnyh in uzlah of podressoryvaniya perspektivnyh and modernyzyruemyh voennyh kolesnyh and tracked vehicles with a view uproschenyya s management characteristics. In the example of BTR-4 rassmotreno Application mahnytoreolohychnyh elastomerov in sharnyrah podvesky ego, something pozvolyt with mynymalnymi expenses for Introduction and functioning obespechyt Management uh characteristics. S pomoshchju method of finite elements in the environment "Femme" wires calculation mahnytmoj chain sharnyra with mahnytoreolohychnoho elastomera under control ego shift in module neobhodymy Limit.

**Key words:** military wheeled and tracked vehicles, suspension systems, elastic elements, damping devices, performance management, intelligent materials, magnitoreologichni elastomers, elastic joint that controls the magnetic field.