

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ШАРНІРУ ІЗ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО ЕЛАСТОМІРУ ВАЖЕЛЯ КЕРОВАНОЇ ПІДВІСКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Вступ. Одним із напрямків підвищення якісних показників підвіски транспортних засобів є застосування керування характеристиками її пружних елементів та демпфіруючих пристроїв. На сьогоднішній день, при створенні керованої підвіски використовуються складні технічні рішення, що призводять до її низької надійності в складних умовах експлуатації, при цьому підвищується вартість та погіршується ремонтпридатність. Актуальною проблемою є пошук та застосування нетрадиційних технічних рішень, з метою усунення недоліків, що стримують широке впровадження керованих підвісок на транспортних засобах.

Вирішити дані проблеми можна шляхом застосування альтернативних матеріалів, завдяки властивостям яких, досягається спрощення конструкцій вузлів підвіски, характеристиками яких керують, при цьому забезпечується необхідна швидкодія та незначне енергоспоживання. Одними з таких матеріалів є так звані «інтелектуальні матеріали», а саме – магнітореологічні еластоміри (МРЕ), що можуть змінювати свої модулі пружності, зсуву та втрат під дією керуючого магнітного поля.

Аналіз публікацій. У роботах [1,2] представлено методологію пошуку нових фізичних принципів дії і технічних рішень вузлів підвіски транспортних засобів, розроблену на основі проведених функціонально-фізичного і речовинно-польового аналізів. Зроблено висновок, що подальший розвиток вузлів підвіски 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 напрямки використання електромагнітного поля для керування характеристиками вузлів систем підресорювання. У роботах [4,5,6] представлено результати досліджень по використанню інтелектуальних матеріалів (сплавів з ефектом пам'яті форми та речовин, які поглинають і речовин що поглинаються) для регулювання кліренсу та положення підресореного корпусу транспортного засобу. У роботах [7,8] проведено аналіз властивостей і характеристик МРЕ та доведено можливість їх використання у вузлах керованої підвіски транспортних засобів 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.

У роботі [11] для реалізації керування жорсткістю торсіонної підвіски колісного бронетранспортера було запропоновано пружні шарніри важелів з гумовими втулками замінити на спеціальні шарніри, що мають втулки з МРЕ. Процес керування відбувався шляхом створення у даних втулках магнітного поля, завдяки чому змінювався модуль пружності МРЕ, а отже й жорсткість підвіски у цілому. У наведених варіантах конструкцій шарнірів, котушки із струмом, що створюють магнітне поле, було розташовано в межах шарнірів. Перевагою такої схеми є те, що габарити важеля

© В.В. Дущенко, 2017

залишаються незмінними. Недоліки полягають у складності технології виготовлення та забезпечення належного з'єднання втулки із корпусом шарніру, обмеженні простору для розташування котушки з необхідною кількістю витків і проблемах із тепловідведенням.

Ціль та постановка задачі. Удосконалити конструкцію шарніру важеля підвіски, що виключить недоліки раніше розроблених конструкцій та забезпечить більш рівномірний розподіл магнітного поля і достатній рівень магнітної індукції у матеріалі втулок шарніру.

Матеріали досліджень. Для отримання рівномірного розподілу магнітного поля у втулці шарніру та досягнення більшої магнітної індукції, а отже і збільшення діапазону регулювання жорсткості було розроблено та досліджено конструкцію шарніру із зовнішнім розташуванням котушок які створюють магнітне поле у втулці. На дану конструкцію було оформлено заявку на патент та отримано позитивне рішення [12].
Схема підвіски, що розглядається, представлена на рис. 1.

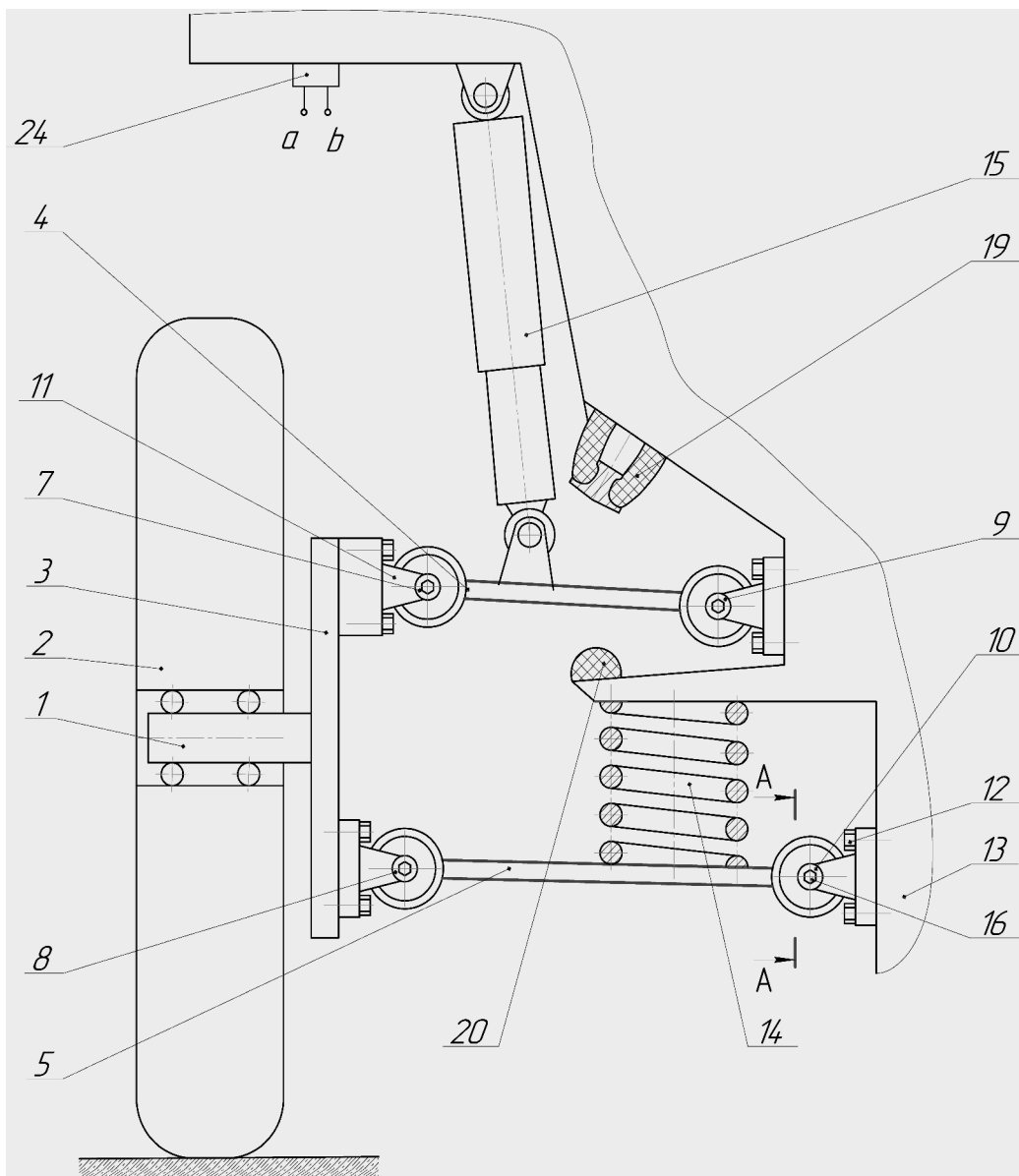


Рис. 1. Схема підвіски транспортного засобу

На рис. 2 зображено переріз А-А шарніру підвіски. На рис. 3 зображено схему підключення елементів керування.

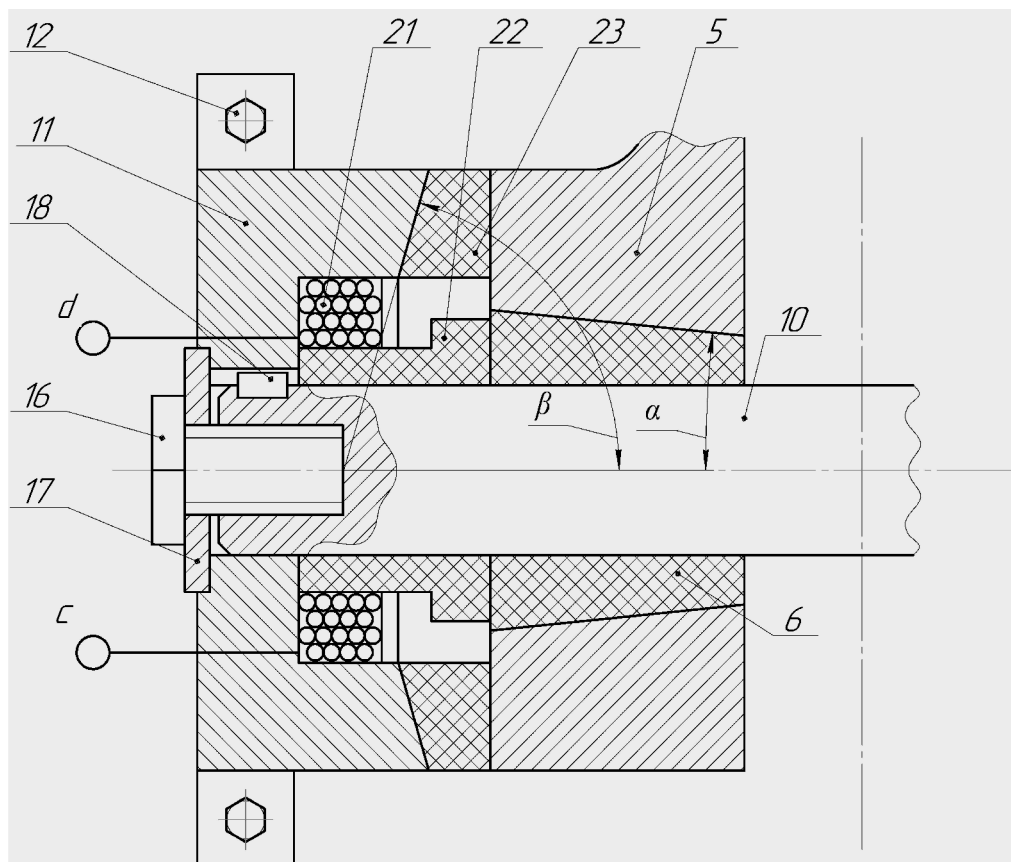


Рис. 2. Схема шарніру підвіски

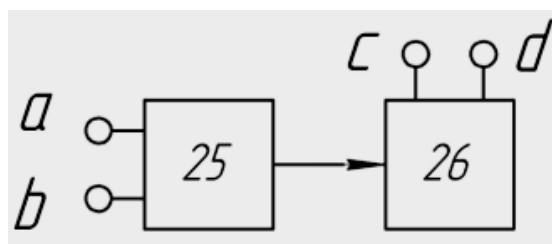


Рис. 3. Схема підключення елементів керування

Підвіска транспортного засобу містить на осі 1 колеса 2, поворотний кулак 3, верхній 4 та нижній 5 важелі, які містять на кожному кінці, виготовлені із пружного МРЕ, втулки 6 із осями 7, 8, 9,10, які за допомогою кронштейнів 11 та болтів 12 закріплено за до поворотного кулака 3 та до підресореного корпусу 13. Між підресореним корпусом 13 та нижнім важелем 5 встановлено пружний елемент 14, а між верхнім важелем 4 та підресореним корпусом 13 встановлено амортизатор 15.

Болти 16 із шайбами 17 встановлено на торцях осей 7, 8, 9, 10, кожна з яких містить також шпонку 18. Упори 19 та 20 закріплено на підресореному корпусі 13. У отво-

рі кронштейну 9 розміщено котушку 21, яку встановлено на виконаній із немагнітного матеріалу втулці 22, а між торцевими частинами кронштейнів 9 та торцевою частиною кожного з верхніх 4 та нижніх 5 важелів розміщено кільцеві втулки 23, один із торців кожної з яких виконано у формі конуса. Блок датчиків 24 встановлено на підресореному корпусі 13. Блок управління 25 та регульоване джерело струму встановлено на підресореному корпусі 13.

Підвіска транспортного засобу працює наступним чином. Рух транспортного засобу по нерівностям призводить до виникнення вертикальних, поздовжньо-кутових та поперечно-кутових коливань підресореного корпусу 13, що негативно впливає на людей та устаткування, які розміщено у ньому. Для ефективного зменшення негативного впливу коливань необхідно зменшувати (демпфірувати) їх амплітуди шляхом розсіювання енергії коливань у вигляді тепла у довкілля. Оскільки жорсткість підвіски визначаються як сума незмінної жорсткості пружного елемента 14 та сумарної жорсткості втулок 6, а демпфірування амортизатора 15 визначаються як сума незмінної непружної сили амортизатора 15 та непружної сили втулок 6, то для поліпшення демпфірування коливань підресореного корпусу 13 впроваджується регулювання характеристик жорсткості та демпфірування втулок 6 за допомогою зміни струму, який надходить до котушок 21, що викличе зміну магнітного поля і активізує феромагнітні частинки у МРЕ втулок 6, що це призведе до зміни їх жорсткості та демпфірування, а отже і властивостей підвіски в цілому, відповідно до умов руху.

Зменшення амплітуд, швидкостей та пришвидшень коливань підресореного корпусу 13 на підвісці відбувається наступним чином. Найбільш небезпечними вважаються періодичні нерівності, які викликають резонансні коливання підресореного корпусу 13 на підвісці, коли амплітуди, швидкості та пришвидшення коливань стрімко зростають. При русі транспортного засобу по періодичним нерівностям, вони примушують колесо 2 переміщуватися по вертикалі із частотою слідування нерівностей і передають зміщення через ось 1 на кулак 3, через втулки 6 на верхній 4 та нижній 5 важелі, які при цьому обертаються відносно осей 7, 8, 9, 10, і викликають кутові деформації пружних втулок 6. При цьому, кутові деформації втулок 6 пропорційні до вертикальних переміщень підресореного корпусу 13 і, отже, і до вертикальних деформацій пружного елемента 14, а вертикальна лінійна жорсткість, яка обумовлена втулками 6, додається до жорсткості пружного елемента 14, що відповідно підвищує загальну жорсткість підвіски.

Аналогічно, до сили демпфірування, яку створює амортизатор 15, додається сила демпфірування, яку відтворюють втулки 6 при коливаннях підресореного корпусу 13 на підвісці. Котушки 21 живляться через клеми c , d струмом від регульованого джерела 26, причому, величина струму за програмою регулюється блоком управління 25, який отримує необхідну для цього інформацію через клеми a , b через відповідні клеми на блоку датчиків 24. Це дозволяє отримати оптимальну жорсткість та демпфірування втулок 6 і підвіски в цілому для даних умов руху транспортного засобу.

Наприклад, при збільшенні струму у котушці 21 його магнітне поле зросте, жорсткість і демпфірування втулок 6 відповідно збільшаться, що викличе зростання частоти власних коливань підресореного корпусу 13 на підвісці, тобто власна частота тепер буде відрізнятися від частоти слідування нерівностей на дорозі і резонансні коливання

підресореного корпусу 13 на підвісці зникнуть, що призведе до зменшення амплітуд, швидкостей і пришвидшень коливань підресореного корпусу 13. Завдяки властивостям МРЕ при цьому також зросте демпфірування у втулках 6, яке додасться до демпфірування амортизатора 15 і також сприятиме зменшенню амплітуд коливань підресореного корпусу 13. Болт 16, шайба 17 та шпонка 18 забезпечують жорсткий зв'язок осей 7, 8, 9, 10 із відповідними кронштейнами 9. Для забезпечення рівномірного розподілу магнітної індукції уздовж втулки 6 між торцевою частиною кронштейну 9 та торцевою частиною кожного з верхніх 4 та нижніх 5 важелів розміщено кільцеві втулки 23, що виготовлені із МРЕ, один із торців у кожній з яких виконано у формі конуса, а утворюючу конуса розміщено під кутом β до відповідної з осей 7, 8, 9, 10. Це забезпечує зменшення довжини розташованої далі від котушки 21 частини магнітного ланцюга, який утворюють кронштейн 9, кільцева втулка 23, верхній 4 та нижній важелі 5, втулка 6 та ось 10 – відповідне зменшення її магнітного опору.

Виконана із немагнітного матеріалу втулка 22 забезпечує рівномірний розподіл магнітної індукції у матеріалі втулки 6, та дозволяє за допомогою болта 16 та шайби 17 збільшувати натяг пружної втулки 6 у отворах верхнього 4 та нижнього 5 важелів. Виконання зовнішньої поверхні пружної втулки 6 під кутом α , що задається – до осі 10 покращує рівномірний розподіл магнітної індукції у матеріалі пружної втулки 6. Переміщення колеса 2 угору та долу обмежується упорами 19 та 20. Для регулювання кліренсу та положення підресореного корпусу 13, у відповідних підвісках транспортного засобу блок керування 25 змінить величину струму, який живить котушки 21, що призведе до зміни їх жорсткості і жорсткості підвіски в цілому, і вплине на величину кліренсу та положення підресореного корпусу 13.

Завдяки використанню швидкодіючого електричного керування така підвіска встигатиме спрацьовувати при усіх умовах руху транспортного засобу – на відміну, наприклад, від механічних або гідравлічних систем.

Для дослідження магнітного поля, що створюється у втулках шарнірів було застосовано середовище «Femm» (Finite element method magnetics). Дослідження у цьому середовищі проводиться за методом кінцевих елементів. Вихідними даними для дослідження були креслення об'єкту, фізичні характеристики матеріалів складових магнітного ланцюга, та магніторушійна сила (МРС, ампер-витки). Відносні магнітні проникності частин встановлюються за обраним матеріалом згідно відповідної кривої намагнічування. Відносна магнітна проникність втулки з МРЕ варіювалася в межах $\mu = 12 \dots 2300$ [9]. Менше значення відповідає наповнювачу еластоміру порошком карбонільного заліза до 40 % від загального об'єму зразка. Більше - відповідає альтернативним наповнювачам, наприклад нікель, або пермалой. МРС варіювалася для досягнення необхідного результату, що полягає у отриманні найбільшої можливої величини індукції у втулці з МРЕ та її рівномірного розподілу у межах втулки [10]. Обмеження полягають у відсутності магнітних містків у магнітному ланцюзі та у щільності струму у дроті котушки, що не повинен перевищувати 10 А/мм^2 , для запобігання перегріву.

Приклад результатів наведено на рис. 4.

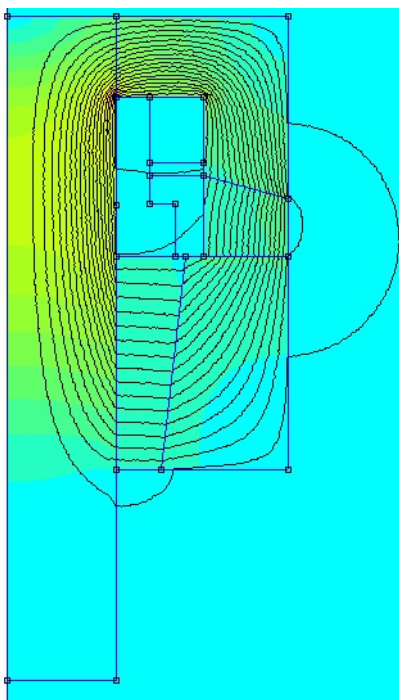


Рис. 4. Розподіл магнітного поля у шарнірі

У процесі досліджень варіювалися кути нахилу утворюючих поверхонь втулок, та було отримано раціональні значення кутів нахилу $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 74^\circ$, при яких індукція в матеріалі втулок розподілена достатньо рівномірно із відхиленням від середнього значення у межах 10%, та досягає значення близько 1 Тл. Магнітні містки у шарнірі відсутні.

Висновки. Удосконалено конструкцію шарніру важеля підвіски, що містить втулку із МРЕ та забезпечує рівномірний розподіл магнітного поля та достатній рівень магнітної індукції у матеріалі даної втулки.

Мета досліджень досягається шляхом зовнішнього розташування котушок, що створюють магнітне поле у втулці. Отримано раціональні значення кутів нахилу $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 74^\circ$, утворюючих поверхонь втулок, при яких індукція у їх матеріалі розподілена із відхиленням від середнього значення у межах 10%, та досягає значення близько 1Тл.

Завдяки торцевому гвинтовому кріпленню забезпечується надійне з'єднання втулки із металевим корпусом важеля та простота монтажу і обслуговування шарнірів.

Література: 1. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.В. Дуценко, Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – 354 с. 2. Дуценко В.В. Питання удосконалення методології аналізу та синтезу систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин / Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. 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. – 2011. – Вып. 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-й політехн. ін-т”. – № и 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. Дуценко, О.М. Коц // Вісник НТУ „ХПІ”. Сб. наук. праць. Сер: Транспортне машинобудування. – 2010. – Вип. 39. – С. 38–43. **6.** Дуценко В.В. Попередній розрахунок енергоспоживання системи регулювання положення корпусу транспортного засобу на основі використання ефекту адсорбції / В.В. Дуценко, І.В. Мусницька, О.М. Коц // Механіка та машинобудування. – 2010. – №1. – С. 108–113. **7.** Дуценко В.В. Оцінка можливості використання магнітореологічних еластомірів в якості пружних елементів підвіски транспортних засобів / В.В. Дуценко, О.М. Агапов // Вестник НТУ „ХПІ”. Сб. науч. трудов. Сер: Автомобиле-і тракторобудування – 2015. – Вип. . 8. – С. 121–126. **8.** Дуценко В.В. До питання використання магнітореологічних еластомірів в якості демпфіруючих пристроїв підвіски транспортних засобів / В.В. Дуценко, О.М. Агапов // Вестник НТУ „ХПІ”. Сб. науч. трудов. Сер: Автомобиле-і тракторобудування – 2015. – Вип. 9. – С. 108–113. **9.** Chen L. Microstructures and viscoelastic properties of anisotropic magnet-rheological elastomers /L. Chen, X. L. Gong, W. H. Li// *Smart Material and Structures*. – 2007. – № 16. – pp. 1–6. **10.** Böse H. Magnetorheological elastomers with high variability of their mechanical properties / H. Böse, R. Rödes // *11th Conf. on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions. Journal of Physics*. – 2009. – Series 149. – pp. 51–57. **11.** Дослідження керуючого магнітного поля та вибір конструкції пружного шарніра з втулкою із магнітореологічного еластомеру підвіски колісного бронетранспортера / В.В. Дуценко, А.О. Маслієв // Вісник НТУ «ХПІ». 2017. № 5 (1227) – С. 173–178. **12.** Підвіска транспортного засобу / А.О. Маслієв, В.В. Дуценко, Б.Г. Любарський, В.Г. Маслієв, позитивне рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель №26848/3У/16 від 09.11.2016.

Bibliography (transliterated): **1.** Matematy`cheskoe modely`rovany`e processov vozmushhennogo dvy`zhe-ny`ya agregatov y` sy`stem broetan-kovoj tehny`ky` [Mathematical modeling of disturbed motion aggregates and systems of armoured vehicles] / E.E. Aleksandrov, D.O. Voloncevy`ch, V.V. Dushhenko, Kharkov: NTU «ХПУ». – 2012. – 354 s. **2.** Dushhenko V.V. Py`tannya udoskona-lennya metodologiyi analizu ta sy`nte-zu sy`stem pidresoryuvannya vijs`kovy`x guseney`chny`x i kolisny`x mashy`n [The issues of improving the methodology of analysis and synthesis of suspension systems of military tracked and wheeled vehicles] / V.V. Dushhenko // *Vijs`kovotekhnichny`j zbirny`k Akademiyi suxoputny`x vijs`k im. P. Sa-gajdachnogo*. Lviv, – 2012. – Vy`p. 1. – S. 26– 32. **3.** Dushhenko V.V. Y`spol`zovany`e elekt-romagny`tnogo polya dlya upravleny`ya haraktery`stikamy` uzlov podvesky` transportny`h sredstv [The use of electromagnetic fields to control characteristics of the suspension units of vehicles] / V.V. Dushhenko, N.Y. Kumosy`n // *Avtomoby`l`ny`j transport*. – 2011. – Vy`p. 28. – S. 27–31. **4.** Pat. 37869 na kory`s. mod., Ukray`na, MPK B60G 17/015. Sy`stema re-gulyuvannya polozhennya korpusu tra-nsportnogo zasobu [The position control of the vehicle body] / Dushhenko V.V., Shherby`na O.O.; zayavny`k i patentovlasny`k NTU „KhPI”. – # u 200809281; zayavl. 16.07.08; opubl. 10.12.08, Byul. # 23. **5.** Dushhenko V.V. Do py`tannya vy`kory`sannya efektu adsorbciyi u sy`stemah regulyuvannya polozhennya pidresorenogo korpusu transportny`h zasobiv [To effect the use of adsorption in position control systems of the vehicle body] / V.V. Dushhenko, O.M. Kocz // *Visny`k NTU „KhPI”*. Sb. nauk. prac`. Ser: Transportne mashy`nobuduvannya. – 2010. – Vy`p. 39. – S. 38–43. **6.** Dushhenko V.V. Poperednij rozrachu-nok energospozhy`vannya sy`stemy` regulyuvannya polozhennya korpusu transportnogo zasobu na osnovi vy`kory`sannya efektu adsorbciyi [Preliminary calculation of power consumption of position control system of the vehicle body on the basis of the effect of adsorption] / V.V. Dushhenko, I.V. Musny`cz`ka, O.M. Kocz // *Mexanika ta mashy`nobuduvannya*. – 2010. – #1. – S. 108–113. **7.** Dushhenko V.V. Ocinka mozhly`vosti vy`kory`sannya magnitoreologichny`x elastomiriv v yakosti pruzhny`x ele-mentiv pidvisky` transportny`x zaso-biv [Evaluation of the possibility of using magnetorheological elastomers as elastic elements of the suspension of vehicles] / V.V. Dushhenko, O.M. Agapov // *Vestny`k NTU „KhPI”*. Sb. nauch. trudov. Ser: Avtomoby`le i trakto-robuduvannya – 2015. – Vy`p. . 8. – S. 121–126. **8.** Dushhenko V.V. Do py`tannya vy`kory`s-tannya magnitoreologich-ny`h

elastomiriv v yakosti dempfiroyu-chy`h pry`stroyiv pidvisky` transport-ny`x zasobiv [To effect the use of magnetorheological elastomers as damping devices of the suspension of vehicles]/ V.V. Dushhenko, O.M. Agapov // Vestny`k NTU „KhPI”. Sb. nauch. trudov. Ser: Avtomoby`le i traktorobuduvannya – 2015. – Vy`p. 9. – S. 108–113. 9. Chen L. Microstructures and viscoelastic properties of anisotropic magneto-rheological elastomers /L. Chen, X. L. Gong, W. H. Li// Smart Material and structures. – 2007. – № 16. – pp. 1–6. 10. Böse H. Magnetorheological elastomers with high variability of their mechanical properties / H. Böse, R. Rödes // 11th Conf. on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions. Journal of Physics. – 2009. – Series 149. – pp. 51–57. 11. Doslidzhennya keruyuchogo magnit-nogo polya ta vy`bir konstrukcii pruzhnogo sharnira z vtulkoyu iz magnitoreologichnogo elastomiru pid-visky` kolisnogo bronetransportera [Investigation of the controlling magnetic field and the selection of an elastic hinge structure with a sleeve of magnetorheological elastomer for armoured vehicle's suspension] / V.B. Du-shhenko, A.O. Masliyev // Visny`k NTU «XPI». 2017. # 5 (1227) – С. 173–178. 12. Pidviska transportnogo zasobu [Suspension vehicle]/ A.O. Masliyev, V.V. Dushhenko, B.G. Lyubars`ky`j, V.G. Masliyev, pozy`ty`vne rishennya pro vy`dachu deklaracijnogo patentu na kory`snu model` #26848/ZU/16 vid 09.11.2016.

Дущенко В.В., Маслієв А.О.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ШАРНІРУ ІЗ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО ЕЛАСТОМІРУ ВАЖЕЛЯ КЕРОВАНОЇ ПІДВІСКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Розглянуто питання керування характеристиками підвіски транспортного засобу з використанням шарнірів з магнітореологічних еластомірів. Запропоновано та досліджено удосконалену конструкцію шарніру важеля підвіски, що забезпечує досягнення необхідної величини індукції керуючого магнітного поля та її рівномірний розподіл у втулці шарніру.

Дущенко В.В., Маслиев А.О.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШАРНИРА ИЗ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРА РЫЧАГА УПРАВЛЯЕМОЙ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Рассмотрены вопросы управления характеристиками подвески транспортного средства с использованием шарниров из магнитореологических эластомеров. Предложена и исследована усовершенствованная конструкция шарнира рычага подвески, обеспечивающая достижение необходимой величины индукции управляющего магнитного поля и его равномерное распределение во втулке шарнира.

V. Dushchenko, A. Masliyev

IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF HINGE USING MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS OF LEVER OF CONTROLLED SUSPENSION OF THE VEHICLE

The problems of controlling the characteristics of suspension of a vehicle using hinges with magnetorheological elastomers that change their properties under the action of a control magnetic field are considered. An improved design of hinge of the suspension has been proposed and investigated that ensures the achievement of the necessary induction of the control magnetic field and its uniform distribution in the hinges bushing, and, therefore, provides the necessary variation of *rigidity* and damping.