

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЛЬОВОГО ШАРНІРА ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

В статті розглянуто питання підвищення довговічності кульових шарнірів підвіски автомобіля. Проведено огляд останніх досліджень і публікацій та аналіз існуючих конструкцій кульових шарнірів. Запропоновано низку конструкторсько-технологічних рішень, спрямованих на підвищення довговічності кульового шарніра. Проведено удосконалення конструкції кульового шарніра з метою поліпшення його експлуатаційних можливостей і покращення зносостійкості сферичної трибосистеми «кульовий палець – вкладиш». Запропоновано саморегульований кульовий шарнір з пружним елементом типу тарілчастої пружини оригінальної конструкції. Проведено розрахунок силових параметрів та отримано характеристику жорсткості запропонованого пружного елемента. Розроблено методику комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану пружного елемента та проведено розрахунки на втомну міцність в системі SOLIDWORKS з використанням SOLIDWORKS simulation.

Ключові слова: кульовий шарнір, сферична поверхня, пружний елемент, вкладиш, палець.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK  
Khmelnytsky National University

### IMPROVING THE DESIGN SUSPENSION BALL JOINT CAR

In the article considered question of increase of durability suspension balls joint car. Conducted review of recent research and publications and analysis of existing designs of balls joints. The proposed series of design and technological solutions designed to increase the longevity of a ball joint. Conducted improving the design ball joint in order to improve its exploitations capabilities and improved durability trybosystem ball finger-insert. A self-correcting ball joint with an elastic element type plate spring original design. Conducted calculation of power parameters and obtain a characteristic stiffness of the proposed elastic element. Developed the method of computer modelling of stress-strain state of the elastic element and made calculations on fatigue strength in the system SOLIDWORKS using SOLIDWORKS simulation.

Keywords: balljoint, spherical surface, elastic element, insert, finger.

### Постановка проблеми

В історії розвитку автомобілебудування зустрічаються різні конструктивні варіанти передньої та задньої підвіски автомобіля які поділяються на три типи: залежна, незалежна та напівзалежна.

Функціональним призначенням підвіски автомобіля є забезпечення пружного зв'язку між кузовом та колесами, пом'якшення поштовхів та ударів під час руху, за рахунок чого підвищується довговічність та керованість автомобіля, а водій і пасажир не відчують дискомфорт. В залежності від типу підвіски та конструктивного виконання автомобіль має різні характеристики, такі як: динамічна стійкість, керованість, плавність ходу та маневреність на високих швидкостях [1]. В сучасному автомобілебудуванні широкого застосування набула незалежна підвіска (рис. 1), яка в свою чергу поділяється на декілька типів: підвіска типу «MacPherson» (рис. 1, а) – це підвіска колеса, яка включає в себе один важіль, стабілізатор поперечної стійкості, телескопічну стійку з амортизатором, та один кульовий шарнір і забезпечує переміщення колеса відносно кузова вверх-вниз та поворот; двоважільна підвіска включає дві кульових опори на одне колесо (рис. 1, б); багатоважільна підвіска може мати три, чотири кульових шарніра на одне колесо (рис. 1, в).

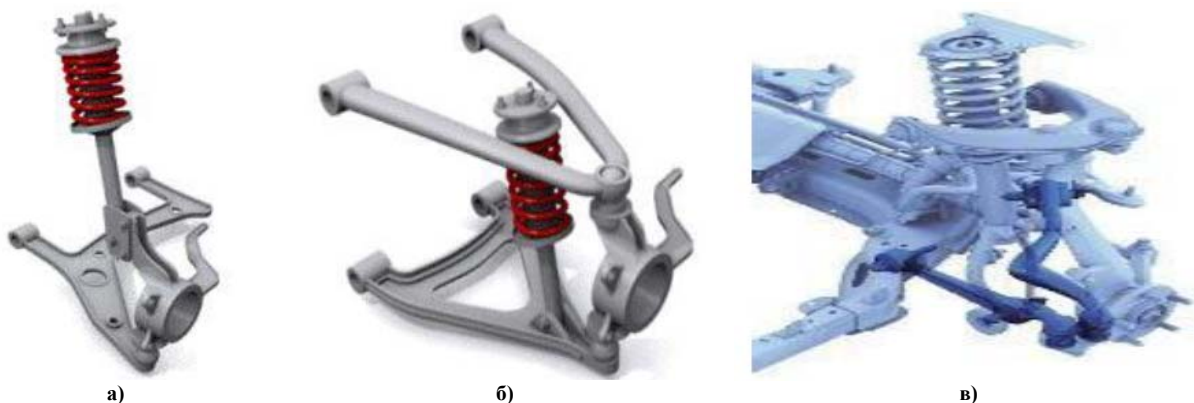


Рис.1. Типи незалежних підвісок  
а) однаважільна типу «MacPherson»; б) двоважільна; в) багатоважільна

Кульовий шарнір підвіски автомобіля – відповідальний вузол, який з'єднує важіль з маточиною підшипникового вузла та сприймає значні просторові навантаження, що виникають під час руху. На рис. 2 представлені типові кульові шарніри у різних конструктивних виконаннях.



Рис. 2. Типові кульові шарніри автомобіля у різних конструктивних виконаннях

У високотехнологічних сучасних автомобілях кульові шарніри широко використовуються в тягах стабілізаторів поперечної стійкості (рис. 3).

Як показує досвід експлуатації автомобілів більшість відмов підвіски спричинена виходом з ладу кульових шарнірів. В процесі експлуатації деталі кульової опори працюють в умовах граничного змащування, що призводить до передчасного зношування контактуючих поверхонь та утворення зазору у спряжені палець-вкладиш. У відповідності до ГОСТ Р 52433-2005 «Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний» момент хитання повинен лежати в межах 2–7 Н·м, а максимальна величина зазору в парі тертя палець-вкладиш не повинна перевищувати 0.7 мм [2].

Підвищення довговічності за рахунок конструкторсько-технологічних рішень, які б забезпечували високі експлуатаційні характеристики та дозволяли підвищити ресурс кульового шарніра є актуальним завданням.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Більшість кульових шарнірів підвіски автомобілів відрізняються лише типорозмірами та конструктивним виконанням залежності від призначення та маси автомобіля.

Відомі кульові шарніри з різноманітним конструктивним виконанням корпусу (рис. 4): а) зварні з заливним вкладишем; б) закатні зверху; в) закатні знизу; г) цільноковані з пружинним кільцем; д) цільноковані з обтисканням знизу; е) з різьбовою кришкою.

У заливних шарнірах в якості наповнювача використовуються полімерний заливний матеріал сирфен, або різноманітні реактопласти, а у всіх інших конструкціях – композиційні матеріали на основі поліамідів [3].

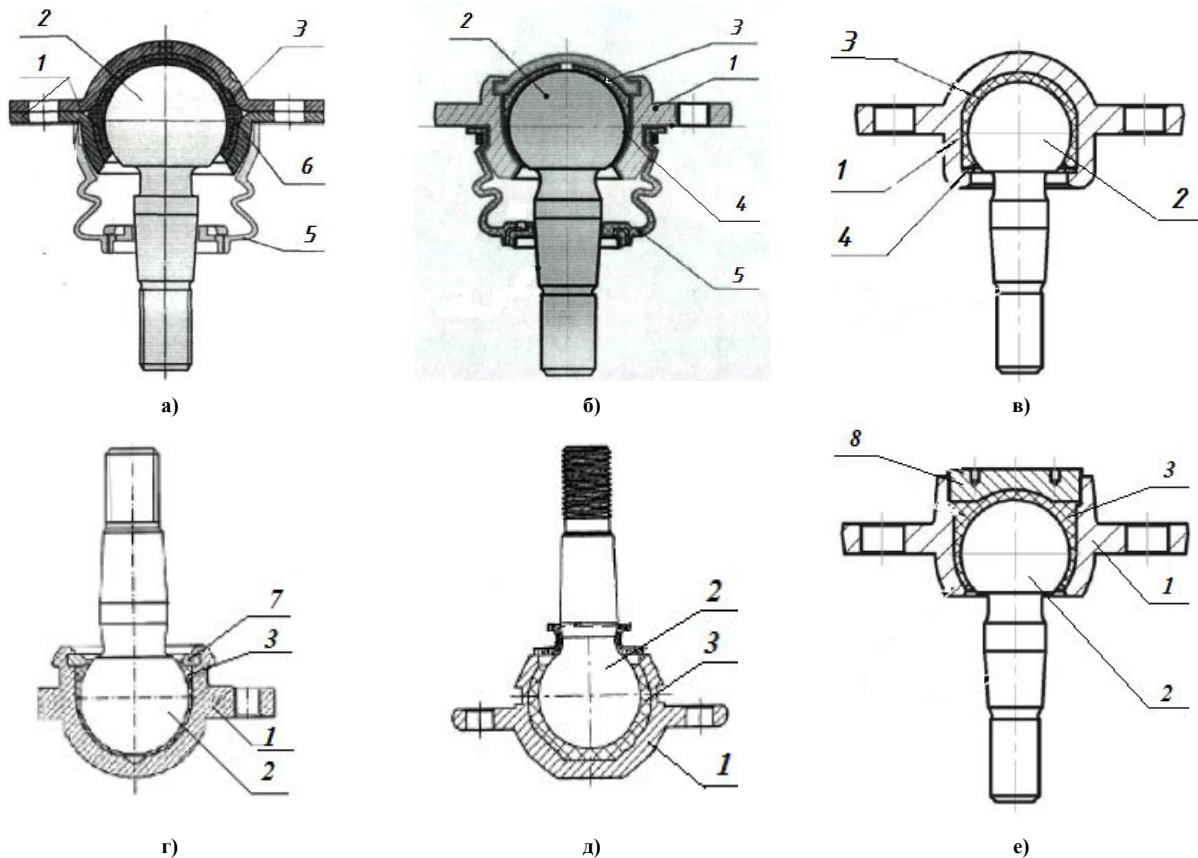
До суттєвого недоліку наведених заливних конструкцій слід віднести – відсутність мастило утримуючих канавок вкладиша, в наслідок чого створюються умови граничного тертя.

Головною деталлю кульових шарнірів є кульовий палець. Його неповна сферична поверхня (НСП), яка охоплена полімерним вкладишем закріпленим у корпусі, утворює пару тертя палець – вкладиш. Постійні коливальні та обертові рухи пальця під час експлуатації автомобіля викликають інтенсивні відносні переміщення робочих поверхонь пари тертя палець – вкладиш під навантаженням, що приводить до їх зношування. Поява зазору у спряженні і люфт пальця сприяє збільшенню динамічних навантажень та інтенсифікації подальшого процесу зношування робочих поверхонь пари тертя палець-вкладиш, що призводить до втрати нормальної працездатності підвіски автомобіля [4].

Відомий кульовий шарнір [5], що містить палець із кульовою голівкою, розміщений на ній вкладиш, установлений у корпусі, підтиснутий пружинним елементом і закритий заглушкою. Вкладиш складається із двох частин. Частина вкладиша, що контактує із пружинним елементом, має поздовжній розріз, а між частинами вкладиша при складанні створено зазор для його вибирання за час гарантійного терміну експлуатації кульового шарніра.



Рис. 3. Тяга стабілізатора поперечної стійкості



**Рис. 4. Кульові шарніри з різноманітним виконанням корпусу:**  
 1 – корпус; 2 – палець; 3 – вкладиш; 4 – кришка; 5 – захисний чохол;  
 6 – залівний матеріал; 7 – пружинне кільце; 8 – шайба

Недоліком даної конструкції є недостатня надійність, зниження експлуатаційних властивостей кульового шарніра внаслідок зменшення стабільності моментів хитання й обертання.

Також відома конструкція кульового шарніра [6], що містить корпус, палець із кульовою головкою, розміщений у корпусі полімерний вкладиш, що складається із двох частин, піджаний пружним елементом і закритий заглушкою. Між пружним елементом і верхньою частиною вкладиша розташована шайба з металу.

Однак даний кульовий шарнір при своєму використанні має недостатньо високі зносостійкість і довговічність через погане змащення поверхонь тертя пари кульовий палець-вкладиш.

Аналіз приведених кульових шарнірів у різних конструктивних виконаннях, вказує на необхідність проведення конструкторсько-технологічних заходів для удосконалення їх конструкцій, спрямованих на підвищення довговічності пари тертя палець-вкладиш.

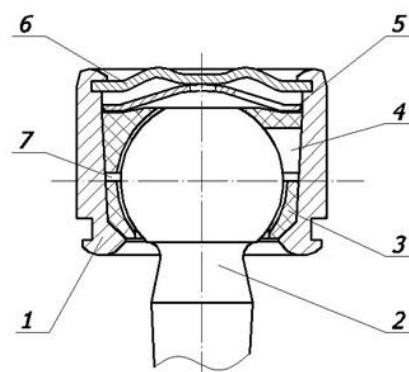
Мета роботи – удосконалення конструкції кульового шарніра підвіски автомобіля шляхом підвищення довговічності роботи через поліпшення його експлуатаційних можливостей і покращення зносостійкості сферичної трибосистеми кульовий палець-вкладиш.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

У роботі пропонується низка конструкторських і технологічних рішень, які забезпечують суттєве підвищення довговічності сферичних шарнірних з'єднань.

Запропоновано модернізовану конструкцію кульового шарніра [7], вид якого представлений на рис. 5.

Кульовий шарнір містить корпус 1, у конусному гнізді якого встановлено полімерний вкладиш 3 і 4, виконаний з можливістю осевого переміщення в гнізді корпусу 1 (наприклад, через наявність розрізів, канавок) і виготовлений із композиційного матеріалу із антифрикційними наповнювачами (наприклад, виготовлення вкладишу з полімеру, армованого вуглеволокном), що охоплює палець 2 з кульовою головкою, поверхневий шар якої зміцнений і має мікрорельєф для утримання мастила (сформований,



**Рис. 5. Кульовий шарнір:**  
 1 – корпус; 2 – палець з кульовою головкою; 3 – вкладиш нижній; 4 – вкладиш верхній;  
 5 – пружний елемент; 6 – кришка; 7 – зазор

наприклад, поверхнево-пластичним деформуванням). Вкладиш складається із двох частин: нижньої частини 3 й верхньої частини 4. Верхня частина 4 вкладиша та нижня 3 розміщені в конічній частині гнізда корпусу 1. Між верхньою частиною 4 вкладиша й нижньою частиною 3 вкладиша є зазор 7. У корпусі 1, над верхньою частиною 4 вкладиша розміщений пружний елемент 5 заглушки 6. Заглушка 6 фіксується в корпусі 1, наприклад, вальцюванням.

Кульовий шарнір збирається в такий спосіб. У конічну частину гнізда корпусу 1 запресовується нижня частина вкладиша 3, потім установлюється палець 2 з кульовою голівкою так, щоби нижня частина вкладиша 3 охоплювала кульову голівку. На кульову голівку пальця 2 попередньо наносять мастило. Після чого в конічну частину гнізда корпусу 1 послідовно встановлюють верхню частину вкладиша 4, заглушку 6 з пружинним елементом 5. Заглушка 6 фіксується в корпусі 1 вальцюванням.

Робота пропонованого кульового шарніра здійснюється при установленні його у підвіску і русі транспортного засобу.

Під час роботи конструктивні елементи кульового шарніра - корпус 1, полімерні вкладиші 3, 4 і кульовий палець 2, зазнають значних знакозмінних навантажень. При фіксуванні заглушки 6 в корпусі 1 відбувається первина деформація пружного елемента 5, який під час експлуатації забезпечує осьове переміщення вкладиша 4, завдяки зазору 7, а також щільність посадки кульової голівки і вкладиша, стабілізує моменти хитання й обертання в кульовому шарнірі. Пропонована конструкція є саморегульованою.

Максимально-допустима сила затиску пальця 2 вкладишами 3 і 4 (рис. 5), що забезпечується за рахунок пружного елемента типу тарілчастої пружини визначається відповідно до моменту хитання пальця, величина якого за ГОСТ Р 52433-2005 «Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний» лежить в межах  $M_f = 2 - 7 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Сила затиску  $P$  розраховується за формулою:

$$P = M_f / 2Rf \quad (1)$$

де  $M_f$  – момент хитання пальця,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $R$  – радіус сфери,  $\text{мм}$ ;  $f$  – коефіцієнт тертя.

Прийнявши  $R = 12,5 \text{ мм}$ ;  $f = 0,035$  (для сталь-полімер), за формулою (1) знаходимо необхідну силу затиску:

$$P_{\min} = M_{f\min} / 2Rf = 2/2 \cdot 0,0125 \cdot 0,035 = 2285 \text{ Н}; \quad (2)$$

$$P_{\max} = M_{f\max} / 2Rf = 7/2 \cdot 0,0125 \cdot 0,035 = 8000 \text{ Н}. \quad (3)$$

Для подальших розрахунків пружного елемента приймаємо:  $P_{\min} = 2300 \text{ Н}$ ,  $P_{\max} = 4000 \text{ Н}$ .

Основними параметрами пружного елемента типу тарілчастої пружини (рис. 6), що визначають силу пружності є:

зовнішній діаметр  $D$ , діаметр внутрішнього отвору  $d$ , товщина пружини  $s$ , висота  $h_0$  та максимально-допустима деформація  $f$ .

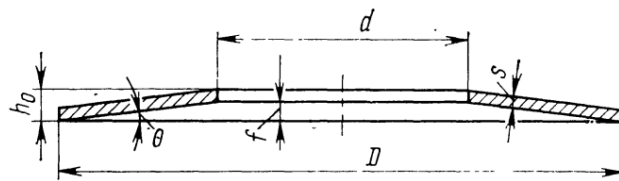


Рис. 6. Тарілчаста пружина

Враховуючи конструктивні особливості кульового шарніра запропоновано пружний елемент типу тарілчастої пружини оригінальної конструкції (зі збільшеною опорною поверхнею та прорізами) (рис. 7, 8), виготовлений холодною штамповкою із попередньо термічно обробленої листової сталі 60С2Апо ГОСТ 14959-88 товщиною 1,5 мм.

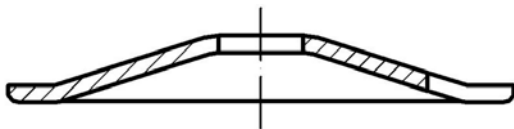


Рис. 7. Пружний елемент

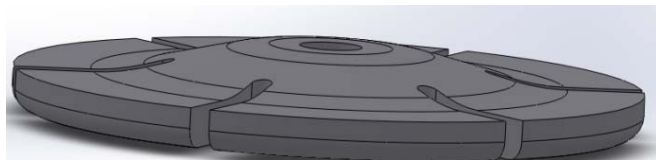


Рис. 8. 3D модель пружного елемента

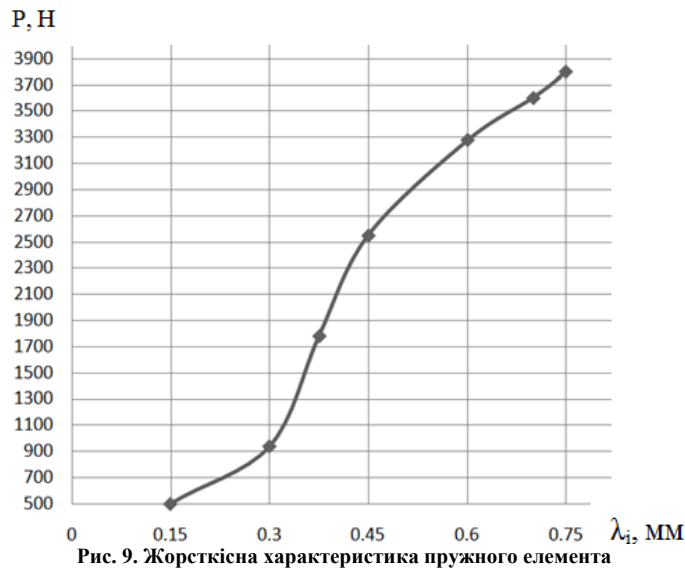
Розрахунок навантаження необхідного для визначення величини осадки проводиться за формулою (4) [8]:

$$P = \frac{2}{3} \frac{\pi E s \lambda_1}{(D-d)^2} \ln \frac{D}{d} \left[ (f - \lambda_1) \left( f - \frac{\lambda_1}{2} \right) + s^2 \right] \quad (4)$$

де  $E$  – модуль пружності МПа;  $s$  – товщина пружини мм;  $\lambda_1$  – осадка, мм;  $f$  – максимально допустима деформація.

Дані розрахунків жорсткісної характеристики пружини представлена на графіку, рис. 9.





Розроблено методичку комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану пружного елемента та проведено розрахунки на втомну міцність для максимально-допустимих умов, що виникають в ході експлуатації автомобіля з використанням програмного комплексу SOLIDWORKS і додатку SOLIDWORKS simulation.

На рис. 10 наведено імітаційну модель навантаження пружного елемента, а на рис. 11 – контурний графік напружено-деформованого стану.

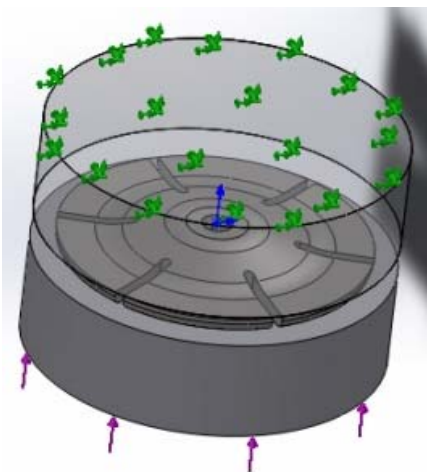


Рис. 10. Імітаційна модель навантаження пружного елемента

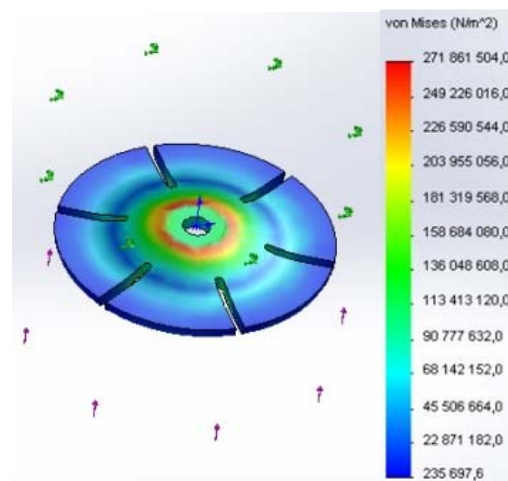


Рис. 11. Контурний графік розподілу напружень

Для перевірки конструкції пружного елемента на втомну міцність проведено розрахунки з визначення строку служби (кількості циклів), результати яких представлені на рис. 12.

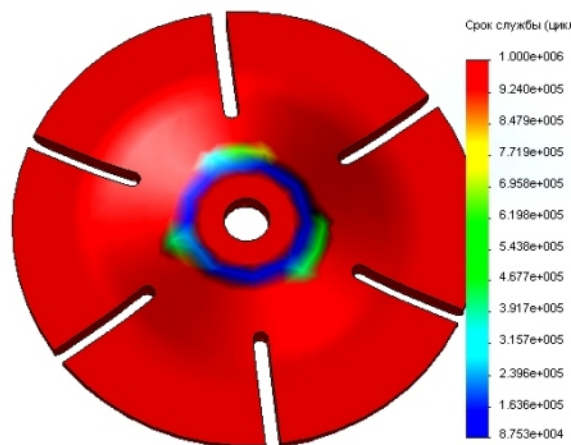


Рис. 12. контурний графік розподілу втомних навантажень

Проведені дослідження дають можливість пересвідчитись у тому, що пружній елемент працює без перенавантажень та не зруйнується раніше експлуатаційного терміну.

Експериментальні дослідження кульових шарнірів, виготовлених у відповідності до запропонованої конструкції, підтвердили підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговуванні.

### Висновки

Розглянуто існуючі конструкції кульових шарнірів. Проведено аналіз конструкторсько-технологічних рішень, спрямованих на підвищення довговічності роботи вузла. Запропоновано удосконалену конструкцію саморегульованого кульового шарніра із оригінальним пружним елементом, яка дозволяє підвищити його довговічність через поліпшення умов роботи пари тертя палець-вкладиш. Розроблено методику комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану пружного елемента і проведені дослідження довговічності його роботи. Випробування удосконаленої конструкції кульового шарніру підтвердили його ефективність.

### Література

1. Подвеска автомобиля [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.avtotut.ru/repair/equipment/Podveska/>. – 14.01.2014.
2. Шкурятяний Ю.В. Кульові шарніри/технічні вимоги / Ю.В. Шкурятяний, М.О. Стучинський // Науково-виробничий журнал. – 2014. – № 2 (238).
3. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров / И.Г. Гун. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 416 с.
4. Костиук С.А. Підвищення довговічності сферичних шарнірних з'єднань / С.А Костиук М.М. Косіюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 2. – С. 71–73.
5. Пат. 31155 Российская Федерация, МПК F16C 11/06. Шаровая опора / Ситковский А.Г., Комаров А.А. ; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "Кедр". – заявл. 13.05.2002 ; опубл. 20.07.2003, Бюл. № 20.
6. Пат. 123870 Российская Федерация, МПК F16C 11/06. Шаровая опора / Арбузов В.И., Лебядок И.Д. ; заявитель и патентообладатель Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью "Фенокс" (ВУ). – заявл. 13.08.2012 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
7. Патент на корисну модель 116145 Україна, МПК F16C 11/06. Кульовий шарнір / Косіюк М.М, Костиук С.А. ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
8. Пономарев С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов : монографія / С.Д. Пономарев, Л.Е. Андреева. – М. : Машиностроение, 1980. – 326 с.

### References

1. Podveska avtomobilia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.avtotut.ru/repair/equipment/Podveska/>. – 14.01.2014.
2. Shkuratiany Yu.V. Kulovi sharniry/tekhnichni vymohy / Yu.V. Shkuratiany, M.O. Stuchynskiy // Naukovo-vyrobnychiy zhurnal. – 2014. – # 2 (238).
3. Hun Y.H. Sovershenstvovanye tekhnolohycheskoi systemy yzgotovleniya sharovykh sharnyrov / Y.H. Hun. – M. : Yzd-vo MTU im. N.E. Bauman, 2000. – 416 s.
4. Kostiuk S.A. Pidvyshchennia dovhovichnosti sferychnykh sharnirnykh ziednan / S.A Kostiuk M.M. Kosiiuk // Herald of Khmelnytsky National University. – 2017. – # 2. – S. 71–73.
5. Pat. 31155 Rossyiskaia Federatsiya, MPK F16C 11/06. Sharovaia opora / Sytkovskiy A.H., Komarov A.A. ; zaiavytel y patentoobladatel Zakrytoe aktsyonernoie obshchestvo "Kedr". – zaiavl. 13.05.2002 ; opubl. 20.07.2003, Biul. # 20.
6. Pat. 123870 Rossyiskaia Federatsiya, MPK F16C 11/06. Sharovaia opora / Arbuzov V.Y., Lebiadok Y.D. ; zaiavytel y patentoobladatel Nauchno-proyzvodstvennoie obshchestvo s ohranychennoi otvetstvennostiu "Fenoks" (BY). – zaiavl. 13.08.2012 ; opubl. 10.01.2013, Biul. # 1.
7. Patent na korysnu model 116145 Ukraina, MPK F16C 11/06. Kulovyy sharnir / Kosiiuk M.M, Kostiuk S.A. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Khmelnytskyi natsionalnyi universytet ; zaiavl. 21.11.2016 ; opubl. 10.05.2017, Biul. # 9.
8. Ponomarev S.D. Raschet upruhykh elementov mashyn y pryborov : monohrafiia / S.D. Ponomarev, L.E. Andreeva. – M. : Mashynostroenye, 1980. – 326 s.

Рецензія/Peer review : 26.7.2017 р.

Надрукована/Printed : 20.8.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатиї Р.В.