

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.828
doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-18-25

МЕХАНИЗМ ИЗНАШИВАНИЯ ПАР ТРЕНИЯ В ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Сергей Петрович Шец¹, Аркадий Евгеньевич Могилев²✉

^{1,2} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ shetssp@mail.ru

² chicagorose8565@gmail.com

Аннотация

Рассмотрен механизм изнашивания пар трения в шарнирных соединениях рулевых приводов автомобилей марки УАЗ-Хантер –315195. Описан процесс изнашивания пар трения «вкладыш (сухарь) – шаровой палец» закрытых сферическими пружинными шайбами и пружинным колпачком, применяемых в конструкции шарнирного соедине-

ния рулевого привода автомобиля. Исследовано влияние фреттинг-коррозии на разрушение шарового шарнира.

Ключевые слова: шарнир, механизм, трение, уплотнение, фреттинг-коррозия, трибосопряжение, материал, герметичность, износостойкость.

Ссылка для цитирования:

Шец С.П. Механизм изнашивания пар трения в шарнирных соединениях рулевых приводов автомобилей // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 08. – С. 18-25. doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-18-25.

Original article
Open Access Article

WEAR MECHANISM OF FRICTION PAIRS IN ARTICULATED JOINTS OF CAR STEERING GEARS

Sergey Petrovich Shets¹, Arkady Evgenyevich Mogilyov²✉

^{1,2} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ shetssp@mail.ru

² chicagorose8565@gmail.com

Abstract

Wear mechanism of friction pairs in the articulated joints of steering gears of UAZ-Hunter -315195 cars is considered. The wear process of friction pairs "bush (cup) – ball pin" closed with spherical spring washers and a spring cap used in the design of the swivel joint of the car steering gear is described. The

effect of fretting corrosion on the destruction of a ball joint is studied.

Keywords: hinge, mechanism, friction, sealing, fretting corrosion, tribo-tension, material, tightness, wear resistance.

Reference for citing:

Shets SP, Mogilyov AE. Wear Mechanism of friction pairs in articulated joints of car steering gears. Transport Engineering. 2023; 8: 18-25. doi: 10.30987/2782-5957-2023-8-18-25.

Введение

Изнашивание пар трения в шарнирных соединениях рулевых приводов автомобилей не только влияет на их работоспособность, но и на безопасность эксплу-

атации. При неисправности какого-либо механизма или детали, эксплуатация транспортных средств становится высоко рискованной. В процессе эксплуатации па-

ры трения в шарнирных соединениях испытывают высокие циклические нагрузки, которые периодически возникают при движении автомобиля по неровной дороге, наезде на препятствие или же при управлении автомобилем на поворотах, когда осуществляется поворот шарового пальца относительно вкладыша (сухаря) из мягкого металла или полимера. Так как уменьшается фактическая площадь контакта в парах трения шаровых соединений, состоящих из различных по физическим свойствам материалов (полимерный вкладыш или вкладыш из мягкого металла во взаимодействии со стальным корпусом и пальцем шарового шарнира), то в них возникает напряженно-деформированное состояние из-за действия нагрузок, температурных полей и других факторов [5].

Материалы методы, результаты исследований

К объектам исследований в данной работе относятся шарнирные соединения рулевых приводов автомобиля УАЗ-Хантер –315195, которые применяются в качестве соединения сошки рулевого механизма с поперечной рулевой тягой. Конструктивная схема шарнирного соединения представлена на рис. 1. В шаровом соединении применена пара трения вкладыш (сухарь) 13 – шаровой палец 11, поджатые пружиной 3 через пята 4.

Результаты анализа конструкции автомобильных шаровых шарниров позволяют установить то, что рабочие поверхности ее сопряженных деталей нагружаются:

- внутренняя сферическая поверхность вкладыша – распределенной нагрузкой от возмущающей силы P_{VK} и распределенной нагрузкой от пружины $P_{ПР}$;

- наружная сферическая поверхность шарового пальца – распределенной нагрузкой от управляющей силы P_C .

Считая, что ось шарового пальца и ось тяги сошки лежат в одной плоскости и сопряженные детали симметричны, то при рассмотрении механизма разрушения детали можно использовать плоскую расчетную модель шарового шарнира, в которой распределенные нагрузки могут быть за-

По мере изнашивания пар трения в шарнирных соединениях, с увеличением общего числа циклов нагружений увеличивается амплитуда колебаний, что приводит к увеличению коэффициента трения. Это объясняется увеличением градиента распределения контактных давлений в области соприкосновения поверхностей трения при фреттинге [3].

Как правило, на процесс изнашивания влияют как внешние факторы: род трения, скорость относительного перемещения трущихся поверхностей, величина и характер давления на поверхности при трении, вид и качество смазочного материала, так и внутренние факторы, связанные со свойствами материалов трущихся деталей (пределом текучести и прочности, твердостью, теплоустойчивостью, химической стойкостью и др.) [1].

менены равнодействующими, а поверхность контакта – линией контакта.

На рис. 2 представлена схема сил, действующих в неизношенном шаровом шарнире при прямолинейном движении автомобиля.

В начальный период эксплуатации при неизношенных рабочих поверхностях сопряженных деталей шарнира расстояние Δ между шаровым пальцем и заглушкой минимальное (рис.1), пружина сжата, шаровой палец поджимается к вкладышу с максимальным усилием, определяемым жесткостью пружины $P_{ПР}$.

Известно, что при повороте автомобиля в груженом состоянии детали рулевого привода воспринимают максимальные усилия. В этом случае ось сошки практически перпендикулярна оси шарового пальца и линии контакта сопряженных деталей симметричны относительно оси шарового пальца. Линии действия сил P_C и P_{VK} перпендикулярны оси шарового пальца и проходят через точку, лежащую на линии контакта линия a-d (рис. 2).

Под действием этих сил на рабочих поверхностях сопряженных деталей создается распределенная нагрузка. Линии действия равнодействующих распределенных нагрузок P_{CN} и P_{VKN} лежат в одной плоско-

сти и нормальны линии контакта в точке приложения сил P_C и $P_{УК}$. Угол между линиями действия внешних сил и равнодействующих распределенной нагрузки со-

ставляет α . Таким образом, равнодействующие распределенных нагрузок можно разложить на горизонтальные и вертикальные составляющие.

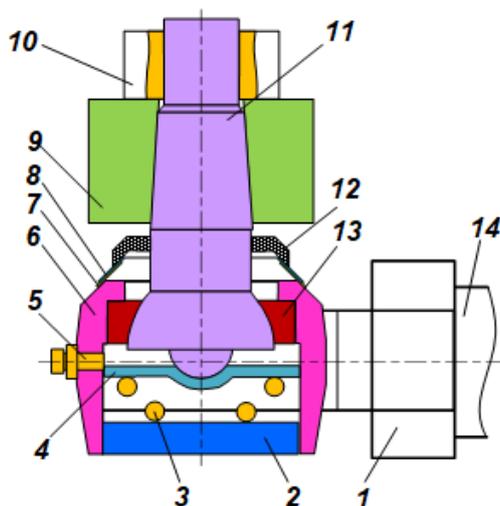


Рис. 1. Конструктивная схема шарнирного соединения:

1 – наконечник; 2 – заглушка; 3 – пружина; 4 – пята; 5 – пресс-масленка; 6 – корпус шарнира; 7 – шайба сферическая нижняя; 8 – шайба сферическая верхняя; 9 – сошка; 10 – гайка; 11 – палец шаровой; 12 – пружинный защитный колпачок; 13 – вкладыш (сухарь); 14 – тяга

Fig. 1. Structural diagram of the swivel joint:

1 – tip; 2 – plug; 3 – spring; 4 – heel; 5 – oil press; 6 – hinge body; 7 – spherical bottom washer; 8 – spherical top washer; 9 – bipod; 10 – nut; 11 – ball pin; 12 – spring cap; 13 – insert (cracker); 14 – thrust

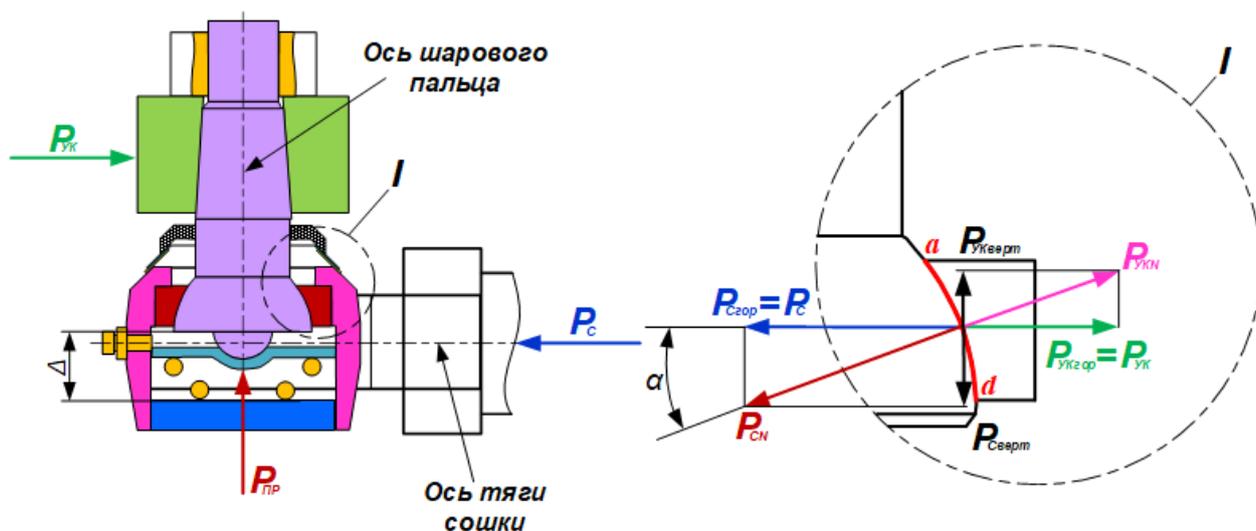


Рис. 2. Схема работы неизношенного шарового шарнира без поворота сошки

Fig. 2. Scheme of operation of an unworn ball joint without turning the bipod

Если при движении автомобиля сила P_C превышает силу $P_{УК}$, возникают неуравновешенные горизонтальные ($P_{Сгор} =$

$P_{Сгор} - P_{УКгор} = P_C - P_{УК}$) и вертикальные ($P_{верт} = P_{Сверт} - P_{УКверт}$) составляющие равнодействующих сил. Неуравновешен-

ная горизонтальная составляющая приводит созданию на управляемых колесах поворачивающего момента и повороту управляемых колес, а неуравновешенная вертикальная составляющая – к отжатию шарового пальца от вкладыша, которому препятствует пружина. При вертикальном перемещении управляемого колеса (при наезде на препятствие, изменении нагрузки на переднюю ось) тяга сошки поворачивается на угол β (рис. 3).

Это приводит к смещению сопряженных поверхностей шарнира с одной стороны вверх, а с другой вниз, площадь контакта пары трения при этом остается практически неизменной. Точка приложения равнодействующих сил смещается, угол увеличивается на величину угла β , однако общие соотношения между силами остаются такими же, и шарнир работает так же, как и в ранее рассмотренном случае. Необходимо отметить, что при изме-

нении направления действия внешних сил шарнир сможет воспринять нагрузку, так как точка приложения сил будет находиться на поверхности контакта сопряженных деталей с противоположной стороны (рис. 3). Во время эксплуатации шарнира сопряженные рабочие поверхности изнашиваются. Под действием пружины опорная пята перемещается относительно корпуса шарнира вверх и поджимает шаровой палец к сухарю, тем самым компенсируя зазор при изнашивании сопряженных деталей. Однако при этом расстояние Δ между шаровым пальцем и заглушкой увеличивается, пружина разжимается и усилие $P_{ПР}$, с которым шаровой палец поджимается к вкладышу, уменьшается. По мере изнашивания сопряженных деталей шарового шарнира наступает такой момент, когда пружина будет полностью разжата и опорная пята окажется поджатой к вкладышу (рис. 4).

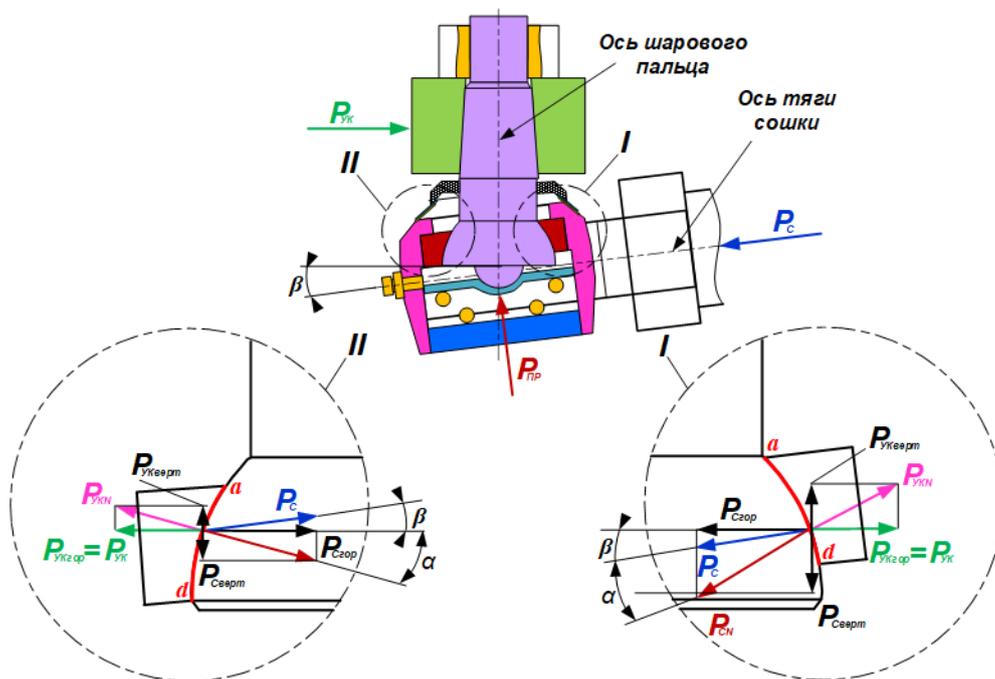


Рис. 3. Схема работы неизношенного шарового шарнира с поворотом сошки
 Fig. 3. Operation diagram of an unworn ball joint with a bipod rotation

Сопряженные детали шарового шарнира в этом случае будут взаимодействовать так же, как и в ранее рассмотренных случаях. При изменении направления действия внешних сил в этом случае шарнир сможет воспринять нагрузку, так как точка приложения сил будет также находиться

на поверхности контакта сопряженных деталей с противоположной стороны, однако площадь контакта уменьшится. Следствием этого произойдет увеличение давления на рабочих поверхностях сопряженных деталей и износ станет аварийным.

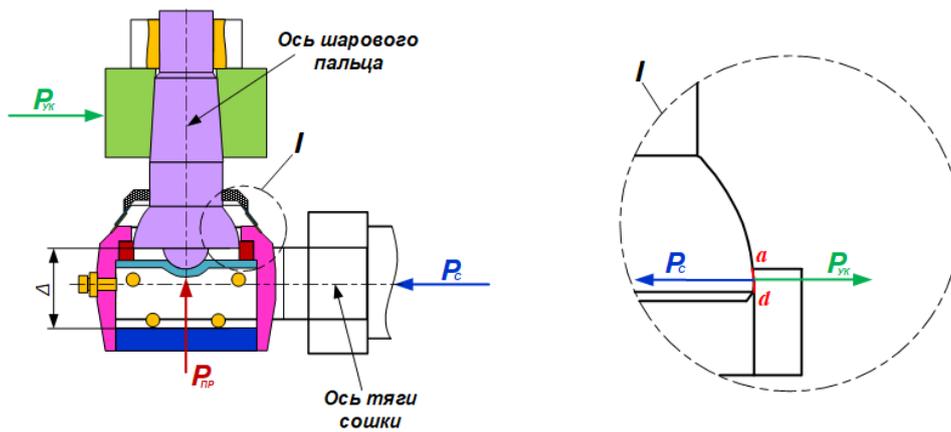


Рис. 4. Схема работы неизношенного шарового шарнира без поворота сошки
 Fig. 4. Scheme of operation of an unworn ball joint without turning the bipod

На рис. 5 представлена схема сил, действующих в изношенном шаровом шарнире перед его разрушением. При дальнейшем изнашивании сопряженных деталей площадь их контакта станет еще меньше, что приведет к увеличению дав-

ления на рабочих поверхностях. При движении автомобиля тяга сошки может занять такое положение, когда рабочие поверхности сопряженных деталей с одной стороны будут контактировать друг с другом, а с другой – перестанут (рис. 5).

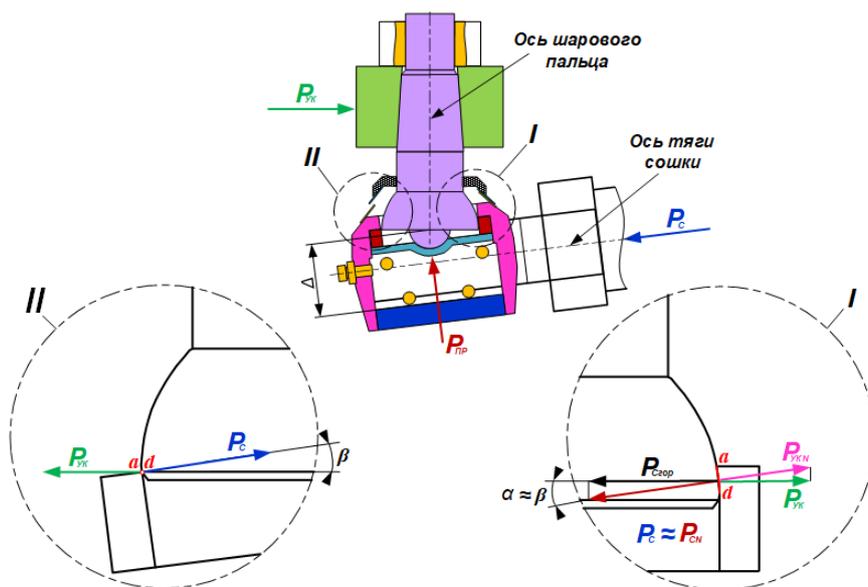


Рис. 5. Схема работы изношенного шарового шарнира перед разрушением
 Fig. 5. Operation diagram of a worn ball joint before destruction

Если силы, действующие в рулевом приводе, будут приложены со стороны контактирующих поверхностей, шарнир будет передавать внешние усилия. При изменении направления действия внешних сил в этом случае шарнир не сможет воспринять нагрузку, так как внешние силы будут действовать в разных плоскостях. Следствием этого произойдет перемещение корпуса наконечника относительно шарового пальца и последующее разрушением шарнира.

Исследования показали, что результате контакта пар трения «вкладыш – шаровой палец», механический вид изнашивания, изменяется на коррозионно-механический. При разрушении уплотнения, состоящего из сферических пружинных шайб и пружинного колпачка, возникает утечка пластичного смазочного материала из полости шарнира и проникновение в зону контакта пар трения, абразивных частиц и агрессивных жидкостей из внешней среды [7, 8]. «При этом проявля-

ется взаимовлияние механических и химических явлений, в результате чего картина изнашивания существенно изменяется» [4]. Наиболее характерные дефекты, которые приводят к отказам шарнирных соединений – это заедание, микросваривание, трещины, риски, коррозия и др.) [2].

«Шарнирные соединения рулевых приводов автомобилей начинают подвергаться аварийному износу, когда осевой и радиальный зазор достигает предельной величины. Предельным состоянием шаро-

вого шарнира принято считать состояние, при котором осевой и радиальный зазоры пальца в корпусе достигают величины 0,7 мм при приложении к пальцу осевой и радиальной нагрузок ± 981 Н. Эти величины справедливы для автомобильных шаровых пальцев с диаметром неполной сферы $d = 25 \dots 35$ мм» [6].

Дефекты рабочей поверхности вкладыша шарового шарнира рулевого привода автомобиля марки УАЗ-Хантер-315195 показаны на рис. 6.

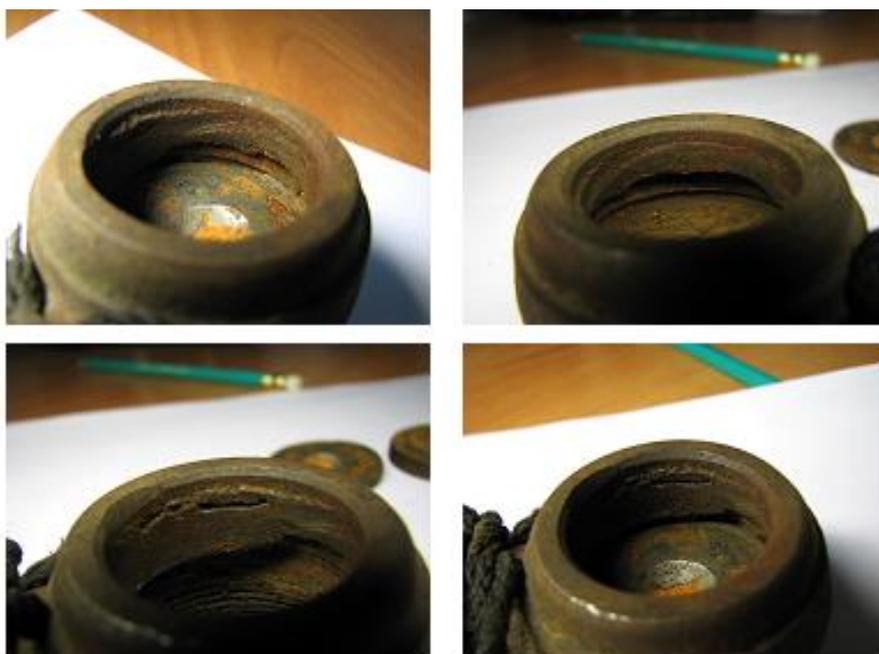


Рис. 6. Дефекты на рабочей поверхности вкладыша шарового шарнира
Fig. 6. Defects on the working surface of the ball joint insert

Разрушение шаровых шарниров может быть вызвано следующими причинами:

- воздействием значительных внешних динамических усилий, нехарактерных для нормальных условий эксплуатации;
- изменением геометрии рабочих поверхностей сопряженных деталей по мере их изнашивания.

На основании проведенных исследований, установлено, что механизм разрушения шарового шарнира тяги сошки автомобиля, заключается в следующем:

1. В начальный период эксплуатации при наличии смазочного материала рабочие поверхности сопряженных деталей изнашиваются естественным образом. Появляющийся вследствие их изнашивания за-

зор компенсируется за счет осевого перемещения шарового пальца пружиной.

2. При дальнейшей эксплуатации и перемещении шарового пальца в осевом направлении происходит раскрытие сферического уплотнения, в результате чего герметичность узла трения нарушается. Это изначально приводит к утечкам, а затем и вымыванию смазочного материала с последующим замещением его продуктами агрессивной окружающей среды (грязь, вода, силикаты и др.). Агрессивная среда создает условия для развития коррозионно-механического процесса изнашивания во внутренней полости шарнира. Увеличение давления на рабочих поверхностях, наличие коррозии и внешних загрязнений значительно интенсифицируют процесс

изнашивания сопрягаемых поверхностей деталей шарнира. Ведущим видом изнашивания становится фреттинг-коррозия, характеризующаяся при отсутствии смазочного материала процессом микрорезания на поверхности нежёстко закреплённым абразивом (силикатами, продуктами коррозии) в условиях агрессивной среды.

3. При дальнейшем перемещении шарового пальца при компенсации износа усилие, с которым он поджимается к вкладышу, уменьшается. Следствием этого происходит еще большее раскрытие сферического уплотнения и большее поступление в узел трения абразивного материала.

4. При полном разжатии поджимной пружины и дальнейшей работе шарнира

Выводы

Для обеспечения износостойкости трибосопряжений шаровых шарниров необходимо предотвратить такой вид износа, как фреттинг-коррозия, путем решения следующих задач:

– необходимо, используя конструктивный метод, который позволит уменьшить удельные давления в парах трения, приведёт к повышению износостойкости вкладыша шарнирного соединения, так как нагрузка в паре трения будет распределена по большей площади фактического пятна контакта и снизит влияние пластических деформаций;

– обеспечить герметичность подвижных соединений совершенствованием

между трущимися поверхностями образуется предельный зазор.

5. В конечном счете, при значительном аварийном износе рабочих поверхностей сопряженных деталей шаровой палец занимает такое положение относительно сухаря, при котором происходит одностороннее смещение пальца относительно вкладыша и его подклинивание, сопровождающееся развитием трещин, задиров и коррозии во вкладыше. В дальнейшем под действием внешнего усилия происходит выворачивание шарового пальца из вкладыша, в результате чего объект исследования полностью разрушается.

6. Разрушение шарового шарнира тяги сошки нарушает кинематику рулевого привода и приводит к потере управляемости автомобиля.

уплотнительного устройства – защитного, пружинного колпачка (поз.14 рис.1). «Уплотнительное устройство должно надежно разделять объемы с различными средами при значительном изменении внешних факторов окружающей среды: температуры, запыленности, агрессивности и др.» [7];

– своевременно проводить диагностирование технического состояния шаровых соединений рулевого привода автомобиля, прогнозировать их ресурс и не допускать возникновения аварийного износа путем своевременной их замены.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коровин М.А. Неисправности деталей машин / Е.В. Сазонов, В.В. Сазонов // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сборник научных статей Всероссийской национальной научно-техн. конф., Воронеж, 13-14 апреля 2023 г. / ред. кол. Е.В. Смоленцев (отв. ред.) – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2023. С. 189-192.
2. Памфилов Е.А. Влияние и оптимизация напряжённого состояния функциональных поверхностных слоёв подшипников скольжения для повышения их износостойкости / Е.А. Памфилов Е.А., В.В. Капустин, П.В. Кузьмин П.В. // Трибология и проблемы МЧС России: Сборник

- материалов междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию образования гражданской обороны, Иваново, 20-21 октября 2022 г. / ред. кол. Д.Б. Самойлов (отв. ред.) [и др.]. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – 70-72 с.
3. Погоньшев В.А. Триботехнические процессы при фреттинг-износе / В.А. Погоньшев, И.А. Мокшин, Д.А. Погоньшева // Наука в центральной России. 2022. № 3 (57). С. 84-91.
4. Прозоров Я.С. Исследование коррозионно-механического изнашивания методом накладывания внешнего потенциала / Я.С. Прозоров Я.С., О.О. Тупицкий // Новые материалы и тех-

нологии в машиностроении, 2014. № 20. С. 78-84.

5. Семьнин М.В. К вопросу снижения износа шаровых соединений транспортных средств сельскохозяйственного назначения / М.В. Семьнин М.В., М.Ю. Костенко // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 4 (41). С. 96-102.
6. Тебекин М.Д. Повышение эффективности определения технического состояния шаровых шарниров подвески легкового автомобиля: дис. ... канд. техн. наук – Орел, 2015. С. 5.

REFERENCES

1. Korovin MA, Sazonov EV, Sazonov VV. Malfunctions of machine parts. Collection of Scientific Papers of All-Russian National Science and Technology Conference, April 13-14, 2023: Prospects for the Development of Processing Technologies and Equipment in Mechanical Engineering; Voronezh: Voronezh State Technical University; 2023.
2. Pamfilov EA, Kapustin VV, Kuzmin PV. Influence and optimization of the stress state of functional surface layers of sliding bearings to increase their wear resistance. Collection of Papers of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Civil Defense, October 20-21, 2022: Tribology and Problems of the Ministry of Emergency Situations of Russia; Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2022.
3. Pogonyshev VA, Mokshin IA, Pogonysheva DA. Tribotechnical processes of fretting wear. *Nauka v Tsentralnoi Rossii*. 2022;3(57):84-91.

Информация об авторах:

Щец Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Брянского государственного технического университета, тел.: 8-909-240-52-41.

Shets Sergey Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobile Transport at Bryansk State Technical University; phone: 8-909-240-52-41.

7. Щец С.П. Взаимосвязь герметичности подшипниковых узлов трения с абразивным изнашиванием их трибосопряжений / Щец С.П., В.И. Сакало, А.Г. Суслов А.Г. // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 2 (50). С. 36-40.
8. Щец С.П. Процессы изнашивания в парах трения "подманжетная шейка - кромка манжеты" / С.П. Щец, А.О. Горленко А.О. // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 5 (66). С. 33-39.

4. Prozorov YaS, Tupitsky OO. Study of corrosion-mechanical wear by applying an external potential. *Novie Materiali I Tehnologii v Mashinostroenii*. 2014;20:78-84.
5. Semynin MV, Kostenko MYu. On the problem of reducing ball joints wear of agricultural vehicles. *Agrarny Vestnik Verkhnevolzya*. 2022;4(41):96-102.
6. Tebekin MD. Improving the efficiency of determining the technical condition of the ball joints of the passenger car suspension [dissertation]. [Orel (RF)]; 2015.
7. Shets SP, Sakalo VI, Suslov AG. Interrelation of tightness of bearing friction units with abrasive wear of their tribounits. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2016;2(50):36-40.
8. Shets SP, Gorlenko AO. Processes of wear in friction pairs "manget neck - cuff edge". *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2018;5(66):33-39.

Могилев Аркадий Евгеньевич – аспирант Брянского государственного технического университета, тел.: 8-920-839-33-11.

Mogilyov Arkady Evgenyevich – Postgraduate Student of Bryansk State Technical University; phone: 8-920-839-33-11.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 17.07.2023; принята к публикации 27.07.2023. Рецензент – Ширококов К.П., кандидат технических наук, доцент, ООО НТИЦ «ТехПром».

The article was submitted to the editorial office on 10.07.2023; approved after review on 17.07.2023; accepted for publication on 27.07.2023. The reviewer is Shirobokov K.P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, STC *Techprom*.