

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ РЕМОНТНЫМИ КОМПЛЕКТАМИ САЙЛЕНТБЛОКОВ

Д. К. Кушалиев

Некоммерческое акционерное общество «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», Уральск, Казахстан
e-mail: zkaty777@mail.ru

Б. А. Ерманова

Научно-образовательный комплекс «Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем», Уральск, Казахстан
e-mail: ermanova.b@mail.ru

Р. Ф. Калимуллин

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: rkalimullin@mail.ru

***Аннотация.** Обеспечение работоспособности подвески автомобилей является одним из факторов безопасного и комфортного движения. Одним из дорогостоящих элементов подвески являются амортизаторы. Вместе с тем их долговечность, зачастую, недостаточна, по причине усталостных разрушений сайлентблоков. Восстановление таких сопряжений традиционными методами путем замены на ремонтные комплекты, аналогичные стандартной конструкции, не позволяет решить эту проблему.*

Резервом повышения долговечности амортизаторов является совершенствование способа восстановления сайлентблоков за счет применения ремонтных комплектов, содержащих трибосопряжения, работающие на новых принципах - подшипники скольжения с подвижными коническими пружинными вкладышами.

Цель – повышение долговечности амортизаторов автомобиля за счет обоснования технических и технологических решений инновационных ремонтных комплектов сайлентблоков.

Теоретически обоснована конструкция ремонтного комплекта сайлентблока амортизатора. Ремонтный комплект состоит из доработанного стандартного сайлентблока и дополнительных элементов - стальной втулки и конического пружинного вкладыша. Представлена технология изготовления ремонтного комплекта. Обоснованность теоретических предположений разработки ремонтного комплекта сайлентблока амортизатора автомобиля подтверждена результатами экспериментальных исследований, а также наблюдениями в эксплуатационных условиях.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что расширены представления о способах восстановления сайлентблоков амортизаторов ремонтными комплектами, содержащими подвижные конические пружинные вкладыши. Значение для практики заключается в том, что при использовании доработанного ремонтного комплекта: повышается долговечность сайлентблока амортизатора в 1,5–2 раза по сравнению со стандартным сайлентблоком за счет снятия напряжений в резине коническим пружинным вкладышем и наличия в образованном подшипнике таких явлений, как «эффект храповика», «эффект маслосгонной резьбы» и «эффект безызносности»; по сравнению с ремонтным комплектом, содержащим цилиндрический пружинный вкладыш, уменьшаются затраты на изготовление и сборку за счет снижения требований к точности рабочих поверхностей деталей.

Представленные результаты научного исследования могут быть использованы для разработки новых технических и технологических решений для восстановления работоспособности узлов транспортной техники, где имеются сопряжения, работающие при больших нагрузках и совершающие возвратно-вращательные движения.

***Ключевые слова:** ремонтный комплект, сайлентблок, пружинные вкладыши, амортизаторы.*

***Для цитирования:** Кушалиев Д. К., Ерманова Б. А., Калимуллин Р. Ф. Совершенствование способа восстановления амортизаторов подвески автомобилей ремонтными комплектами сайлентблоков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 4. – С. 150–160. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-4-150.*

IMPROVING THE METHOD OF RESTORING CAR SUSPENSION SHOCK ABSORBERS WITH REPAIR KITS OF SILENT BLOCKS

D. K. Kushaliev

Non-profit joint-stock company «Zhangir khan West Kazakhstan agrarian Technical university », Uralsk, Republic of Kazakhstan
e-mail: zkaty777@mail.ru

B. A. Ermanova

Scientific and educational complex «Kazakh IT University», Uralsk, Republic of Kazakhstan
e-mail: ermanova.b@mail.ru

R. F. Kalimullin

Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: rkalimullin@mail.ru

Abstract. Ensuring the performance of car suspension is one of the factors of safe and comfortable movement. One of the expensive suspension elements are shock absorbers. At the same time, their durability is often insufficient, due to fatigue damage of silent blocks. The restoration of such interfaces by traditional methods by replacing with repair kits similar to the standard design does not solve this problem.

A reserve for increasing the durability of shock absorbers is the improvement of the method of restoration of silent blocks due to the use of repair kits containing tribo-couples operating on new principles - sliding bearings with movable conical spring inserts.

The goal is to increase the durability of car shock absorbers by substantiating technical and technological solutions of innovative repair kits for silent blocks.

The design of the repair kit for the silent block of the shock absorber is theoretically justified. The repair kit consists of a modified standard silent block and additional elements - a steel sleeve and a conical spring insert. The technology of manufacturing the repair kit is presented. The theoretical background of the development of the repair kit for the silent block of the shock absorber of the car is confirmed by the results of experimental studies, as well as observations in operating conditions.

The theoretical significance of the work lies in the fact that there is a wider understanding of the methods for restoring silent blocks of shock absorbers by repair kits containing movable conical spring inserts. stresses in the rubber with a conical spring insert and the presence in the formed bearing of such phenomena as the «ratchet effect», «oil-squeezing thread effect» and «wear-free effect»; Compared with a repair kit containing a cylindrical spring insert, manufacturing and assembly costs are reduced by lowering the accuracy requirements for work surfaces of parts.

The presented results of scientific research can be used to develop new technical and technological solutions for restoring the operability of nodes of transport equipment, where there are interfaces that work under heavy loads and make reverse-rotational movements.

Key words: repair kit, silent block, spring inserts, shock absorbers.

Cite as: Kushaliev, D. K., Ermanova, B. A., Kalimullin, R. F. (2020 [Improving the method of restoring car suspension shock absorbers with repair kits of silent blocks]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 150–160. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-4-150.

Введение

Производители транспортной техники на стадиях проектирования и изготовления решают задачи обеспечения равнопрочности деталей, узлов, агрегатов и систем при заданном ресурсе. Однако в эксплуатационный период такие решения реализуются не в полной мере, и возникают потребности в функциональном тюнинге, как рода услуг по улучшению качества функционирования изделия [4, 8]. Одним из направлений функционального тюнинга является применение ремонтных комплектов (РК) узлов трения для восстановления их работоспособности, а, зачастую, и повышения их

эксплуатационной долговечности.

Разработке научно-практических основ обеспечения работоспособности транспортной техники посвящены работы Ф. Н. Авдонькина, А. С. Денисова, И. Е. Дюмина, А. А. Звягина, В. В. Савельева, J. Vergu и других авторов [1, 4, 5, 11, 12, 14, 17].

В транспортной технике широко применяются трибосопряжения (в конструкциях узлов подвески, амортизаторов, рулевого управления, карданных передаточных валов), работающие в возвратно-вращательном режиме при больших нагрузках. Одними из характерных таких сопряжений являются сайлентблоки амортизаторов подвески. Сайлентблоки теряют ра-

ботоспособность по причине износа и усталостных разрушений. Восстановление таких сопряжений традиционными методами¹ путем замены на РК, аналогичные по конструкции стандартным сайлентблокам, не эффективно, поскольку долговечность остается неудовлетворительной. Поэтому, актуальным является научный поиск новых технических и технологических решений в транспортной технике по повышению долговечности сопряжений, работающих при больших нагрузках в возвратно-вращательном режиме.

Настоящее исследование содержит теоретическое обоснование конструкции инновационного РК сайлентблока, содержащей новое трибосопряжение – подшипник скольжения с подвижным коническим пружинным вкладышем (ПВ).

Методы исследования

Одним из направлений повышения долговечно-

сти трибосопряжений, работающих при больших нагрузках в возвратно-вращательном режиме, является использование идей профессора Н. Е. Жуковского «о движении без трения», приводящего к его снижению в рабочем органе [5, 7]. Идея с вращением промежуточной опоры без использования для этого внешнего источника энергии частично реализуется в подшипнике скольжения для возвратно-вращательного движения, разработанным А. Н. Виноградовым, В. Г. Курановым и др. [2, 3, 6, 7, 10, 16].

В составе такого подшипника (рисунок 1) имеется подвижный цилиндрический ПВ. При функционировании в колебательном режиме подшипника ПВ поворачивается только в одну сторону, и тем самым достигается равномерность изнашивания и распределения смазки за счет снижения адгезионной составляющей трения и возникновения «эффекта храповика».

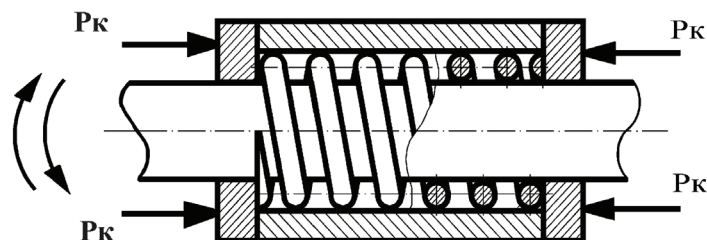


Рисунок 1. Схема подшипника с подвижным цилиндрическим ПВ [2, 3]

В таком подшипнике выполняются трибологические принципы, минимизирующие процессы изнашивания. Первый принцип – активация рабочей поверхности пластической деформацией – реализуется за счет установки упругого ПВ между наружной и внутренней втулками таким образом, чтобы на рабочих поверхностях вкладыша был незначительный натяг, изменяющийся в процессе работы подшипника. Второй принцип – подавление на них

окислительных процессов – обеспечивается установкой сальниковых уплотнений, устраняющих доступ кислорода и других окислителей к рабочим поверхностям, и введением ингибиторов в смазку [2].

Подшипник с цилиндрическим ПВ может быть использован взамен игольчатых подшипников карданного вала (рисунок 2), сайлентблоков подвески, шарниров рулевого управления и других шарнирных узлов.



Рисунок 2. Крестовины карданного вала автомобиля с установленными РК с подвижными цилиндрическими ПВ [3]

¹ Смирнов, В. Л., Прохоров, Ю. С., Боюр, В. С. и др. Автомобили ВАЗ. Технология ремонта узлов и агрегатов. – Тольятти: ООО «Би-График». – 2003. – 208 с.

Опыт применения подшипников с подвижным цилиндрическим ПВ выявил существенный недостаток – для обеспечения требуемой посадки необходимо использовать высокоточное оборудование и дорогостоящий инструмент при изготовлении, и сложность при сборке из-за применения селективного метода.

Для устранения указанных недостатков было предложено выполнить ПВ коническим, а остальные сопрягаемые с ним поверхности деталей – ци-

линдрическими для гарантированного обеспечения посадок с натягом на цилиндрических поверхностях. На данный подшипник получены патент РФ на изобретение № 2499920², евразийский патент № 022603³ и инновационный патент на изобретение РК № 282440⁴.

В подшипник входит вал 1, наружное кольцо 2 и размещенный между ними вкладыш 3 в виде конической винтовой пружины (рисунок 3).

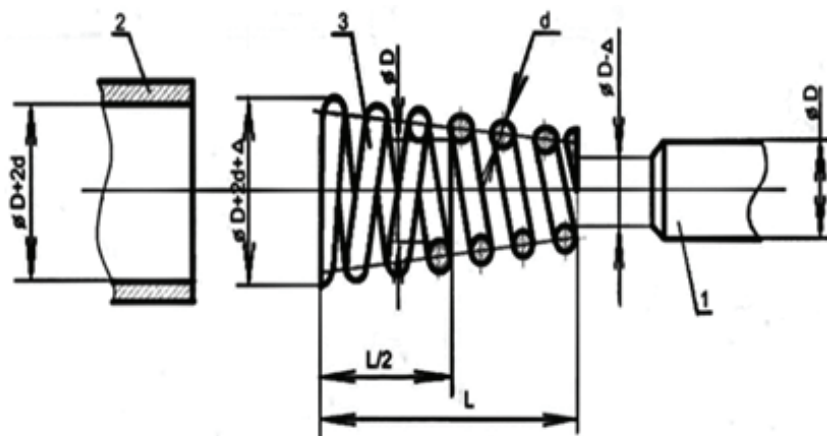


Рисунок 3. Подшипник с подвижным коническим ПВ

Особенности подвижного вкладыша:

- он является коническим с углом конуса от 1° до 5° ;
- диаметр проволоки пружины равен половине зазора между диаметром отверстия вкладыша и диаметром вала;
- устанавливается с натягом по торцам, по внутренней и наружной поверхностям.

В коническом ПВ необходимые условия со-

пряжения обеспечиваются автоматически за счет конструкции вкладыша. Конический вкладыш в подшипнике скольжения имеет специфические посадки. Так в состоянии покоя конический ПВ на половине своей длины (со стороны меньшего диаметра) имеет посадку с натягом, уменьшающую до нуля в середине вкладыша на валу и такую же посадку по втулке со стороны большего диаметра ПВ (рисунок 4).

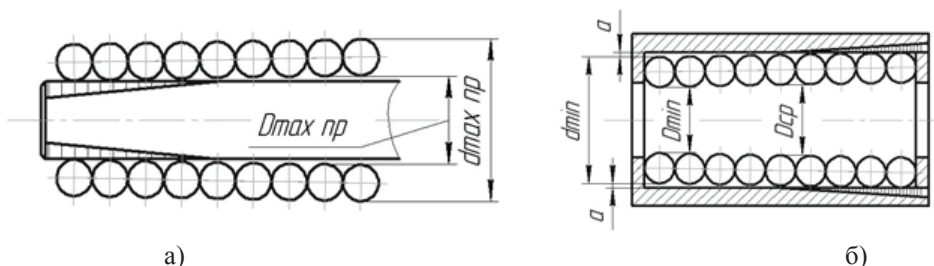


Рисунок 4. Расположение конической пружины и формирование по длине натяга между валом а) и втулкой б)

² Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения: пат. 2499920 Рос. Федерация: МПК F16C 17/00, 33/26 / А. Н. Виноградов, В. Г. Куранов, В. В. Куранов, Д. К. Кушалиев, Е. Д. Линьков.; СГТУ имени Гагарина Ю. А. 2012128063; заявл. 03.07.2012; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33.

³ Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения: пат. 022603 Евраз. Int. Cl. F16C 17/00, 33/26 / А. Н. Виноградов, В. Г. Куранов, В. В. Куранов, Д. К. Кушалиев, Е. Д. Линьков.; СГТУ имени Гагарина Ю.А. 201300682; заявл. 08.07.2013; опубл. 29.01.2016, Бюл. № 1.

⁴ Инновационный патент на изобретение РК № 282440, «Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения с коническим пружинным вкладышем» / Д. К. Кушалиев, патентообладатель ЗКАТУ им. Жангир хана 14.02.2013. – 6 с.

Такие посадки дают гарантированный натяг на обеих рабочих поверхностях, что удовлетворяет одному из условий работоспособности подшипника – созданию пластической деформации на рабочих поверхностях.

Коническая форма ПВ более технологична по сравнению с коническими поверхностями вала и наружного кольца. Угол конуса в диапазоне от 1 до 5° является рациональным, поскольку обеспечивает создание достаточного предварительного натяга на половинах поверхностей вала и кольца. Причем, чем больше угол, тем больше натяг. Угол более 5° затрудняет сборку подшипника из-за большого натяга, а угол менее 1° не обеспечивает натяг для нормальной работы подшипника [3].

Разработана математическая модель процесса функционирования (изменения размера) подвижного конического ПВ сайлентблока амортизатора [9, 12]. Данная модель основывается на математической модели для цилиндрического ПВ, но поскольку конический ПВ отличается от цилиндрического, при расчете были приняты несколько допущений.

При расчете конического ПВ принято, что он изготавливается из пружинной проволоки 65Г квадратного сечения со стороной квадрата 1,4 мм. Такая проволока выбрана потому, что она наиболее подходит для изготовления ПВ сайлентблока заднего амортизатора автомобиля семейства ВАЗ, который являлся объектом исследования (рисунок 5).

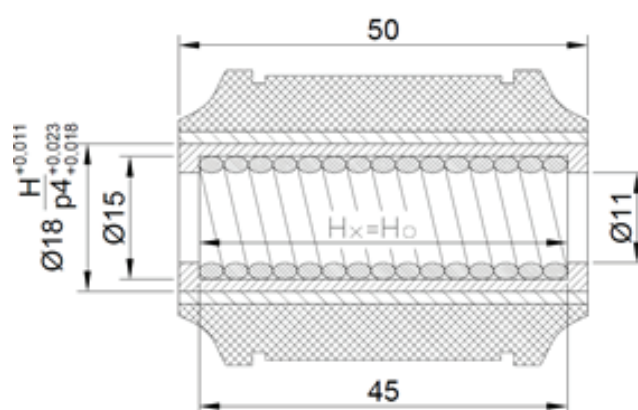


Рисунок 5. Эскиз сайлентблока амортизатора с подвижным коническим ПВ

На эскизе ПВ имеет цилиндрическое сечение (в общем случае расчета). При этом он может быть шлифован до требуемого размера, как внутри, так и снаружи. При расчете конического ПВ приняты следующие допущения:

- абсолютная линейная деформация ПВ f_x равна 1 мм из-за незначительности его деформации в сайлентблоке;
- длина ПВ в нагруженном состоянии H_x приравнена к H_0 , так как пружина не нагружена;
- угол подъема витков ПВ в ненагруженном (свободном) состоянии принят $\alpha = 1,83^\circ$;
- начальный угол подъема оси винтового бруса ненагруженного ПВ $\alpha = \alpha_0$.

В связи с тем, что конический ПВ отличается от цилиндрического, использованы новые расчетные величины:

r_1 и r_2 – наименьший и наибольший средний радиус витков конического ПВ;

D_{0min} – средний диаметр наименьшего витка конического ПВ;

D_{0max} – средний диаметр наибольшего витка конического ПВ.

Дальнейший расчет выполнен для ПВ, представленного в виде жесткого бруса.

Жесткость бруса на изгиб:

$$B = E \cdot a^4 / 12, \quad (1)$$

где

$E = 20 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ – модуль упругости первого рода;

Жесткость бруса при кручении:

$$C = \eta \cdot a^4 \cdot G = \eta \cdot a^4 \cdot E / 2 \cdot (1 + \mu), \quad (2)$$

где

μ – коэффициент Пуассона материала деталей;

Высота (длина) ПВ в ненагруженном состоянии:

$$l_0 = \pi \cdot D_0 / \cos \alpha_0, \quad (3)$$

Длина рабочей части ПВ:

$$H_0 = l_0 \cdot \sin \alpha_0, \quad (4)$$

Осевая сила, при которой конический ПВ сжимается до предела:

$$P_{\text{эр}} = \frac{4 \cdot \cos^2 \alpha_0}{D_0^2} \cdot \left[C \cdot (\sin \alpha - \sin \alpha_0) - B \cdot \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} \right) \right] \quad (5)$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$M = M_0 = -\frac{P \cdot D_0 \cdot (B - C) \cdot \sin 2\alpha_0}{4 \cdot (B \cdot \sin^2 \alpha_0 + C \cdot \cos^2 \alpha_0)}, \quad (6)$$

Средняя величина зацепа кручения пружины:

$$R = M / F, \quad (7)$$

Возвратная сила при нагружении конического ПВ с постоянным шагом до высоты H_x :

$$F_x = \frac{f_x \cdot 2 \cdot C}{p \cdot n \cdot (r_2^2 + r_1^2) \cdot (r_2 + r_1)^2}, \quad (8)$$

где

$$f_x = H_0 - H_x;$$

$$x = 1, 2, 3;$$

r_1, r_2 – наименьший и наибольший номинальный средний радиус рабочей части витков конического ПВ;

Осадка под действием силы P конического ПВ:

$$\lambda \approx \frac{0,25 \cdot (H_0 - H_m)}{(1-n)} \cdot \left(4 - 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{i.i.}}{P} - \frac{P}{P_{i.i.}} \cdot n^4} \right) \quad (9)$$

где

$$(r_1 - r_2) < i;$$

i – число рабочих витков;

$P_{i.i.}$ – сила, при которой начинается просадка витков;

H_m – высота полностью сжатого конического ПВ:

$$H_m = \sqrt{(i \cdot a)^2 - (r_2 - r_1)^2}, \quad (10)$$

$$n = \frac{r_1}{r_2}, \quad (11)$$

где

n – число рабочих витков пружины.

Допускаемая величина изменения размера подвижного конического ПВ подшипника ΔD (радиуса $[f \cdot]$) в окончательном виде имеет выражение:

$$\Delta D(\Delta \lambda) = - \left[(P \cdot \Delta \lambda^3 \cdot \sin(\alpha_0)) \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot C} - \frac{\cos(2\alpha_0)}{4 \cdot B \cdot \cos(\alpha_0)^2} \right) \right] - M \cdot \frac{\Delta \lambda^2}{2 \cdot \cos(\alpha_0)} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha_0)^2 \cdot 2}{C} + \frac{\cos(2\alpha_0)}{B} \right) \quad (12)$$

$$[f \cdot] = \frac{3 \cdot \pi \cdot [P] \cdot R^3}{E \cdot a^4}, \quad (13)$$

где $[P]$ – допускаемая сила для увеличения радиуса пружинного кольца;

$$[P] = \frac{[\sigma] \cdot a^2}{\left\{ \frac{6 \cdot R}{a} + 1 \right\}}, \quad (14)$$

где

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение изгиба.

На основе модели проведены теоретические расчеты подшипника, входящего в РК сайлентблока амортизатора. По результатам расчета установлено, что предложенная математическая модель по сравнению с аналогичной моделью для цилиндрического ПВ отличается более точной корреляцией и расширенным размерным диапазоном применения.

Разработанный подшипник является основным элементом инновационного РК сайлентблока амортизатора автомобиля (рисунок 6).

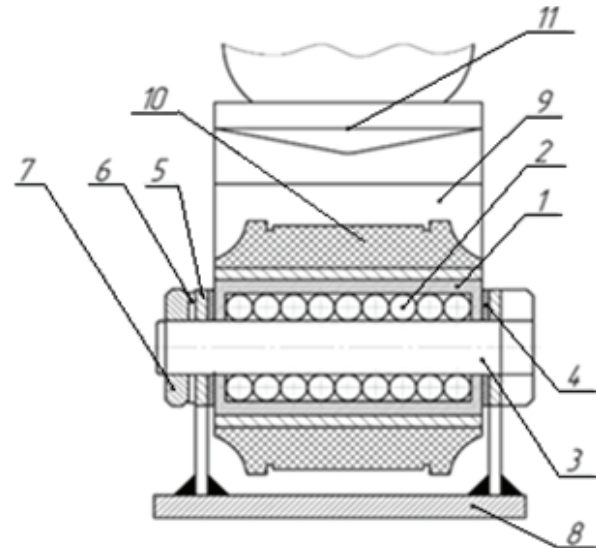


Рисунок 6. Схема установки РК сайлентблока амортизатора автомобиля

1 – втулка стальная; 2 – конический пружинный вкладыш; 3 – болт; 4 – резиновое (или тефлоновое) уплотнение; 5 – проушина; 6 – шайба; 7 – гайка; 8 – опора; 9 – алюминиевая втулка сайлентблока; 10 – резина сайлентблока; 11 – корпус нижней опоры амортизатора

Ремонтный комплект сайлентблока состоит из доработанного стандартного сайлентблока и дополнительных элементов – стальной втулки и конического пружинного вкладыша. Технология изготовления РК сайлентблока амортизатора включает следующие работы: изготавливается промежуточная стальная втулка с полостью с бортиками по внутреннему диаметру для установки конического ПВ; изготавливается конический ПВ; растачивается внутреннее отверстие алюминиевой втулки стандартного сайлентблока до требуемого диаметра;

запрессовывается стальная втулка в алюминиевую втулку; вворачивается конический ПВ в стальную втулку.

Технология изготовления ПВ включает стандартные операции, в том числе и термообработку. Конический ПВ навивался на пружинонавивочном автомате модели А520 из омедненной проволоки 65Г квадратного сечения со стороной квадрата 1,4 мм.

Детали РК сайлентблока представлены на рисунке 7.

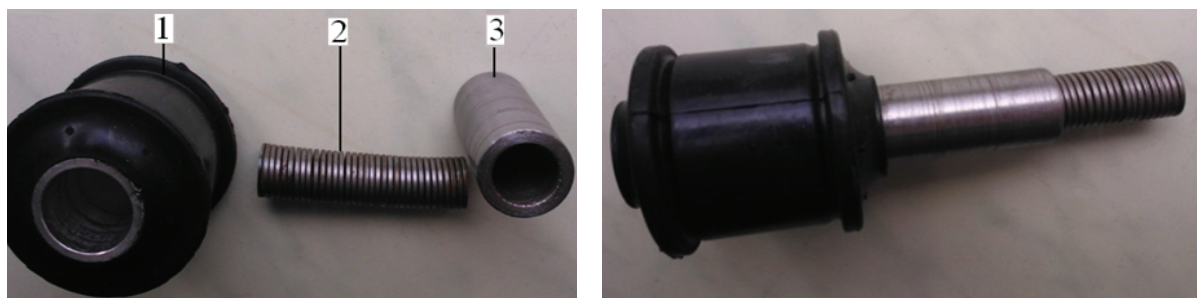


Рисунок 7. Детали РК сайлентблока

1 – сайлентблок, 2 – конический пружинный вкладыш, 3 – стальная втулка

Были построены графики расчетной (по математической модели) и экспериментальной характеристики изменения размеров конического ПВ подшипника сайлентблока, из которых видно, что с учетом

построения доверительных интервалов, несовпадение составляет не более 10 % в диапазоне от 0 до 1,5 мм, что вполне допустимо (рисунок 8).

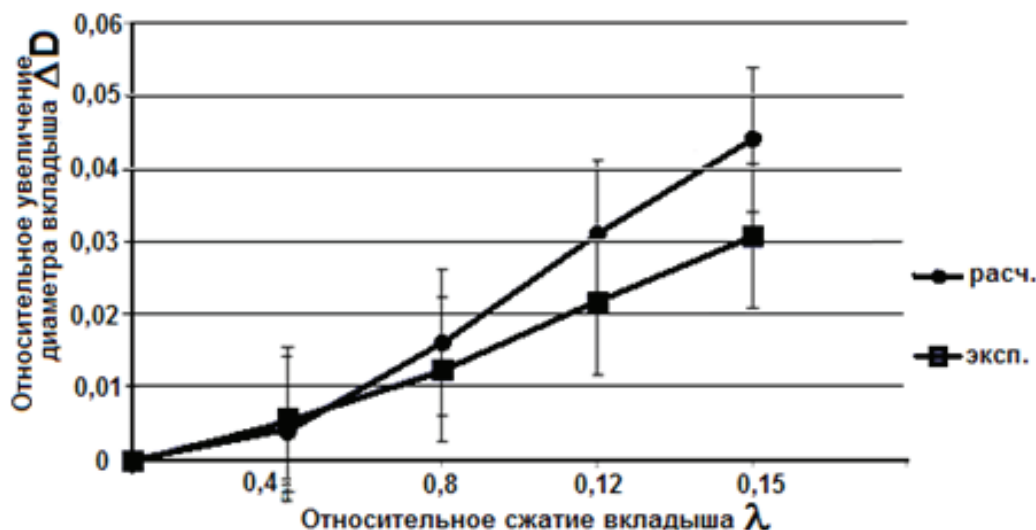


Рисунок 8. Сравнительные характеристики изменения размеров конического ПВ подшипника сайлентблока

Проведены ресурсные испытания РК сайлентблока в задних амортизаторах легковых автомобилей. В испытаниях принимали участие 35 автомобилей ВАЗ. Изменение технического состояния

стандартного сайлентблока оценивалось по характеру разрушения резиновой втулки, а инновационного РК сайлентблока – по значению хода болта поджатия металлической втулки для компенсации

возникающего зазора в сопряжении подшипника специально разработанным приспособлением с цилиндрическим щупом и микрометром МК 25–1.

Предельные значения параметров технического состояния сравниваемых сайлентблоков определены методами математической статистики из выборки отказавших узлов. Предельный износ в сопряжении составил 1,5 мм, поскольку при этом значении произошел разрыв резиновой втулки.

Поскольку правый амортизатор изнашивается, как правило, быстрее левого за счет ряда негативных факторов, таких, как, например, поперечные неровности дороги, наезд правым колесом на обочину и др., то сравнение износов стандартного сай-

лентблока и РК сайлентблока проводилось именно по правому амортизатору.

Графики изменения параметров технического состояния стандартного сайлентблока и РК сайлентблока у правых задних амортизаторов в зависимости от пробега автомобиля представлены на рисунке 9.

Для всех сайлентблоков зависимость износа от пробега экспоненциальная, однако, предельный износ ремонтного комплекта наступает гораздо позже. Стандартный сайлентблок имеет среднюю наработку на отказ около 68–70 тыс. км, а ремонтный комплект – от 115 до 130 тыс. км, что в 1,5–2 раза больше.

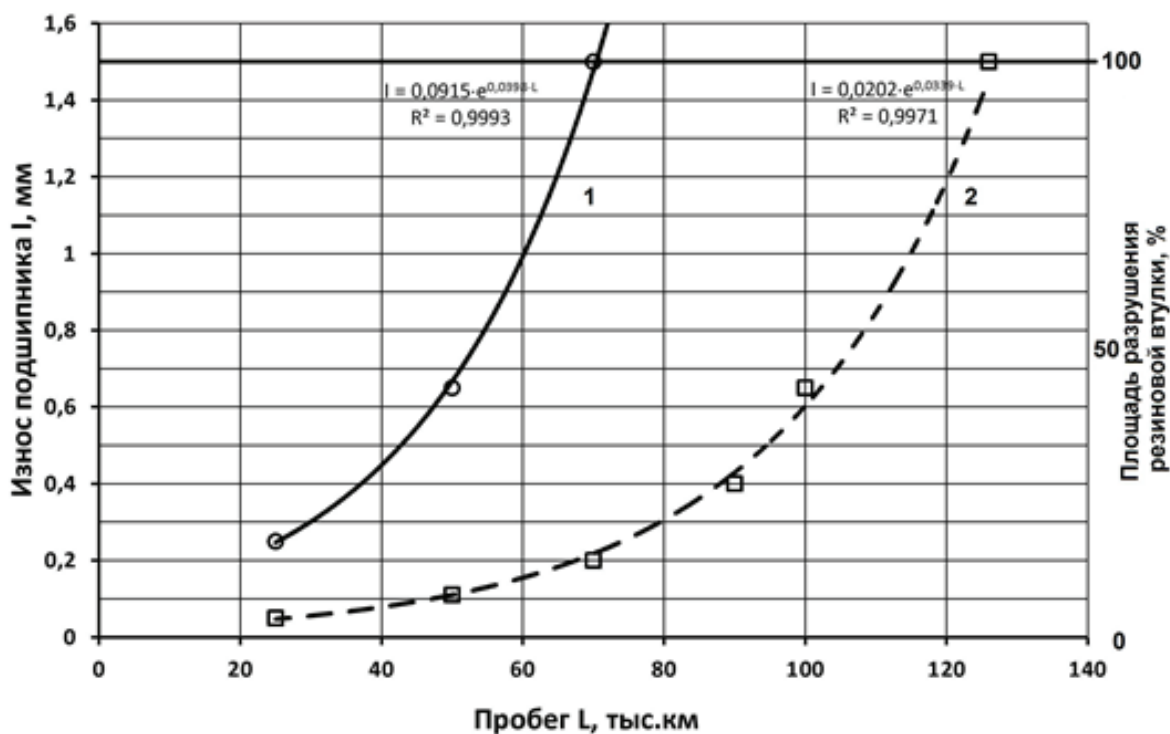


Рисунок 9. Графики изменения технического состояния сайлентблоков правых амортизаторов от пробега автомобиля (1 – стандартный сайлентблок, 2 – РК сайлентблока)

Результаты и обсуждение

Обоснованность теоретических предпосылок разработки РК сайлентблока амортизатора автомобиля, содержащего подшипник с коническим ПВ, подтверждена результатами экспериментальных исследований, а также наблюдениями в эксплуатационных условиях [7].

Обобщая результаты исследований и наблюдений можно заключить, что разработанный инновационный РК сайлентблока имеет следующие практические преимущества:

– по сравнению со стандартным сайлентблоком повышается долговечность узла в 1,5–2 раза за счет снятия напряжений в резине сайлентблока коническим ПВ и наличия в подшипнике таких явлений,

как «эффект храповика», «эффект маслосгонной резьбы» и «эффект безыносности»;

– по сравнению с РК, содержащим цилиндрический ПВ, уменьшаются затраты на изготовление и сборку за счет снижения требований к точности рабочих поверхностей деталей.

Заключение

Представленная в статье научно обоснованная техническая и технологическая разработка имеет существенное значение для повышения эффективности эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта. Научная новизна результатов исследования заключается в том, что доказаны теоретические положения, расширяющие представ-

ление о способах восстановления сайлентблоков амортизаторов применением РК с подвижными ПВ; предложены оригинальные суждения о процессе функционирования конического ПВ в составе

сайлентблока амортизатора; аналитически и экспериментально обоснованы преимущества инновационного РК перед стандартным сайлентблоком и РК, содержащим цилиндрический ПВ.

Литература

1. Авдонькин Ф. Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля / Ф. Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1993. – 352 с.
2. Виноградов А. Н. Методика расчета подшипника скольжения для возвратно-вращательного движения // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2008. – № 1(30). – 12–17.
3. Виноградов А. Н., Линьков Е. Д. Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 2(71). – 206–209.
4. Денисов А. С., Басков В. Н., Якубович И. А., Шафеев Д. Р. Надежность автомобильных двигателей в условиях сурового климата и потенциал функционального тюнинга // Научное обозрение. – 2015. – № 4. – С. 91–99.
5. Денисов А. С., Асоян А. Р., Родионов Ю. В. Обеспечение работоспособности двигателей совершенствование восстановительных технологий. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 248 с.
6. Куранов В. Г., Виноградов А. Н. О движении без трения и износа // Тяжелое машиностроение. – 2001. – № 9. – С. 28–30.
7. Куранов В. Г., Виноградов А. Н., Денисов А. С. Износ и безызносность. – Саратов, СГТУ, 2000. – 136 с.
8. Кушалиев Д. К. Повышение эксплуатационных характеристик элементов подвески автомобилей функциональным тюнингом: монография. – Уралск: ЗКАТУ имени Жангир хана, 2017. – 102 с.
9. Кушалиев Д. К. Теоретическое обоснование применения конического пружинного вкладыша взамен цилиндрического для подшипника возвратно-вращательного движения в сайлентблоках амортизаторов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (73). – С. 231–235.
10. Пат. 2162552 Российская Федерация, МПК⁷ F 16 C 17/00, 33/26. Подшипник скольжения для возвратно-вращательного движения / В. Г. Куранов, А. Н. Виноградов, А. В. Бузов, Ю. А. Петров, В. А. Каракозова; заявитель и патентообладатель Саратов. госуд. техн. ун-т. - № 99107058/28; заявл. 31.03.99; опубл. 27.01.01, Бюл. № 3.
11. Berry, James Oil Whirl and Whip Instabilities within // Journal Bearings. Machinery Lubrication magazine. – 2005. – May–June.
12. Cem Sinanoglu, Fehmi Nair, M. Baki Karamis Effects of shaft surface texture on journal bearing pressure distribution // J. of material processing technology. – 2005. – № 168. – p. 344–353.
13. Kushaliev D. K., Vinogradov A. N., Salimov B. N., Hamsin A. M., Adilova N. B., Narikov K. A. Development of new friction bearing for swinging movement in knots of transport equipment and its processing by superfinishing // Life Science Journal. 2014. Volume 11 – Special Issue 1 (Supplement 1101s), January 25. – 11(1s). pp. 286–290.
14. Strecker William Failure Analysis for Plain Bearings // Machinery Lubrication magazine. – 2004. – July–August.
15. Strecker William Troubleshooting Tilting Pad Thrust Bearings // Machinery Lubrication magazine. – 2004. – March–April.
16. Vinogradov A. N., Kuranov V. G. Bearings of sliding for the return–rotational motion on the basis of new tribological principles and effects, Restoration and hardening of machine parts // Interuniversity. scientific. compilation. – Saratov: SSTU, 2003. – p. 175–182.
17. Yang B. S., and Lee, Y. H., and Choi, B. K., and Kim, H. J. Optimum Design Of Short Journal Bearings By Artificial Life Algorithm // Tribology International. – 2001. – № 34. – p. 427–435.

References

1. Avdon'kin, F. N. (1993) Optimizatsiya izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya [Optimization of changes in the technical condition of the car]. Saratov: SSTU, 352 p. (In Russ.).
2. Vinogradov, A. N. (2008) [Method of calculating the sliding bearing for reciprocating and rotating motion] Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov state technical University]. No. 1(30), pp. 12–17. (In Russ.).
3. Vinogradov, A. N., Linkov, E. D. (2013) [Sliding Bearing for reciprocating motion] Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov state technical University]. No. 2(71), pp. 206–209. (In Russ.).

4. Denisov, A. S., Baskov, V. N., YAkubovich, I. A., SHafeev, D. R. (2015) [Reliability of car engines in harsh climates and the potential for functional tuning] *Nauchnoe obozrenie* [Scientific review]. No. 4, pp. 91–99. (In Russ.).
5. Denisov, A. S., Asoyan, A. R., Rodionov, YU. V. (2015) *Obespecheniye rabotosposobnosti dvigateley sovershenstvovaniye vosstanovitel'nykh tekhnologiy* [Ensuring engine performance improving recovery technologies]. Penza: PGUAS. 248 p. (In Russ.).
6. Kuranov, V. G., Vinogradov, A. N. (2007) *Dvizhenie bez treniya i iznosa* [Movement without friction and wear]. Saratov: SSTU, 52 p. (In Russ.).
7. Kuranov, V. G., Vinogradov, A. N. (2000) *Dvizhenie bez treniya i iznosa* [Wear and tear]. Saratov: SSTU, 136 p. (In Russ.).
8. Kushaliev, D. K. (2017) *Povysheniye ekspluatatsionnykh harakteristik elementov podveski avtomobilej funktsional'nykh tuningom: monografiya* [Improving the performance characteristics of car suspension elements by functional tuning]. Uralsk: Zhanger khan West Kazakhstan agrarian Technical university. 102 p. (In Russ.).
9. Kushaliev, D. K. (2013) [Theoretical justification for the use of a conical spring liner instead of a cylindrical one for a reciprocating motion bearing in shock absorber silent blocks] *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov state technical University]. No 1 (73), pp. 231–235. (In Russ.).
10. Pat. 2162552 Russian Federation, МПК⁷ F 16 C 17/00, 33/26 (2001) *Podshipnik skol'zheniya dlya vozvratno-vrashchatel'nogo dvizheniya* [Sliding bearing for reciprocating motion] / V. G. Kuranov, A. N. Vinogradov, A. V. Buzov, YU. A. Petrov, V. A. Karakozova; zayavitel' i patentoobladatel' Saratov. gosud. tekhn. un-t. – № 99107058/28; zayavl. 31.03.99; opubl. 27.01.01, Byul. № 3. (In Russ.).
11. Berry, James. (2005) Oil Whirl and Whip Instabilities within. *Journal Bearings. Machinery Lubrication magazine*, May–June. (In Engl.).
12. Cem Sinanoglu, Fehmi Nair, M. Baki Karamis (2005) Effects of shaft surface texture on journal bearing pressure distribution. *Journal of materials processing technology*. No 168, p 344–353. (In Engl.).
13. Kushaliev, D. K., Vinogradov, A. N., Salimov B. N., Hamsin A. M., Adilova N. B., Narikov K. A. (2014) Development of new friction bearing for swinging movement in knots of transport equipment and its processing by superfinishing. *Life Science Journal*. Vol. 11 – Special Issue 1 (Supplement 1101s), January 25. 11(1s), pp. 286–290. (In Engl.).
14. Strecker, William (2004) Failure Analysis for Plain Bearings. *Machinery Lubrication magazine*, July–August. (In Engl.).
15. Strecke, William (2004) Troubleshooting Tilting Pad Thrust Bearings. *Machinery Lubrication magazine*, March–April. (In Engl.).
16. Vinogradov, A. N., Kuranov, V. G. (2003) Bearings of sliding for the return–rotational motion on the basis of new tribological principles and effects, Restoration and hardening of machine parts. *Interuniversity. scientific. compilation (Saratov, SSTU.)*, pp. 175–182. (In Engl.).
17. Yang B. S., and Lee, Y. H., and Choi, B. K., and Kim, H. J. (2001) Optimum Design of Short Journal Bearings By Artificial Life Algorithm. *Tribology International*. No 34. Pp. 427–435. (In Engl.).

Информация об авторах:

Даурен Кайсарович Кушалиев, кандидат технических наук, доктор PhD, руководитель проектного офиса «AGROTECHHUB», НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Республика Казахстан

ORCID ID: 0000-0003-1389-5918

e-mail: zkaty777@mail.ru

Ерманова Бибинур Айболкызы, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, НОК «Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем», Уральск, Республика Казахстан

ORCID ID: 0000-0002-7723-2999

e-mail: ermanova.b@mail.ru

Калимуллин Руслан Флюрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0003-4016-2381, **Researcher ID:** E-9031-2015, **Scopus Author ID:** 6602711766

e-mail: rkalimullin@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 19.03.2020; принята в печать: 17.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Kushaliev Dauren Kaisarovich, Candidate of Technical Sciences, PhD, Project Office Manager «AGRO-TECHHUB» NJSC «Zhangir khan West Kazakhstan agrarian Technical university», Uralsk, Republic of Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0003-1389-5918

e-mail: zkaty777@mail.ru

Ermanova Bibinur Aibolkyzy, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, «Department of Ecology and Life Safety» SEC «Kazakh IT University», Uralsk, Republic of Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-7723-2999

e-mail: ermanova.b@mail.ru

Kalimullin Ruslan Flyurovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of automobile transport, Orenburg state University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0003-4016-2381, **Researcher ID:** E-9031-2015, **Scopus Author ID:** 6602711766

e-mail: rkalimullin@mail.ru

The paper was submitted: 19.03.2020.

Accepted for publication: 17.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.