

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 62-762:63

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-3-68-72

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ**[✉], канд. техн. наукmelnikov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>; Scopus Author ID: 57209744643**КАЗАНЦЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор

smdm@rgau-msha.ru; Scopus Author ID: 57209268547

ИГНАТКИН ИВАН ЮРЬЕВИЧ, д-р техн. наук, доцентime@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>; Scopus Author ID: 57222543815**СКОРОХОДОВ ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ**, канд. техн. наук, доцентd.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999**БЕЛОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор

belov@rgau-msha.ru; Scopus Author ID: 57212563127

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. В настоящее время следует не только улучшать технологии ремонта, но и рассматривать возможности применения различных модифицированных материалов с целью повышения послеремонтной надежности сельхозтехники. Одним из способов совершенствования резиновых уплотнений подшипниковых узлов является их модифицирование добавлением в состав резиновой композиции фторорганических соединений, оказывающих комплексное воздействие на резину, улучшающих ее физико-механические и трибологические свойства. Для определения влияния модифицирования уплотнений на трение и износ испытывали соединения, состоящие из стальной втулки диаметром 45 мм с поверхностной твердостью не менее HRC32 и манжет трех типов: серийных (ГОСТ 8752-79); модифицированных спирт-теломером (ФС-1) и фторпарафином (ФС-2) в количестве одной массовой части ФС на 100 массовых частей каучука. Износ манжет определялся по изменению ширины рабочей кромки, измеряемой ДИП-6 с оптико-электронной измерительной системой НИИК-890. Стендовые испытания показали, что объемное модифицирование фторорганическими соединениями улучшило свойства резин: износ модифицированных уплотнений по сравнению с серийными уменьшился в 1,83...1,94 раза, коэффициент трения уменьшился в 1,32...1,37 раза.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, уплотнительное устройство, износ, коэффициент трения, объемное модифицирование, фторорганическое соединение.

Формат цитирования: Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Скороходов Д.М., Белов М.И. Совершенствование уплотнительных устройств подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 68-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-68-72>.

© Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Скороходов Д.М., Белов М.И., 2022



ORIGINAL PAPER

IMPROVING SEALING ELEMENTS OF THE BEARING ASSEMBLY
OF AGRICULTURAL MACHINERY**OLEG M. MELNIKOV**[✉], PhD (Eng)melnikov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>; Scopus Author ID: 57209744643**SERGEY P. KAZANTSEV**, DSc (Eng), Professor

smdm@rgau-msha.ru; Author ID Scopus: 57209268547

IVAN YU. IGNATKIN, DSc (Eng), Associate Professorime@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>; Author ID Scopus: 57222543815**DMITRY M. SKOROKHODOV**, PhD (Eng), Associate Professord.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Author ID Scopus: 57223623999**MIKHAIL I. BELOV**, DSc (Eng), Professor

belov@rgau-msha.ru; Scopus Author ID: 57212563127

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. At present, it is necessary to improve not only repair technologies, but also consider the possibility of using various modified materials to increase the post-repair reliability of agricultural machinery. One of the ways to improve the rubber seals of bearing

assemblies is to modify them by adding organofluorine compounds to the rubber composition, which have a complex effect on rubber, improve its physical, mechanical, and tribological properties. To determine the modification effect of seals on friction and wear, the author tested joints consisting of a steel bushing with a diameter of 45 mm with a surface hardness of at least HRC32 and collars of three types: serial (GOST 8752-79); modified with alcohol-telomer (FS-1) and fluoroparaffin (FS-2) in the amount of one mass part of PS per 100 mass parts of rubber. The collar wear was determined by changing the width of the working edge, measured by DIP-6 with the optoelectronic measuring system NIIK-890. Bench tests showed that volumetric modification with organofluorine compounds improved the properties of rubber: the wear of modified seals decreased in 1.83...1.94 times compared to serial ones, friction coefficient decreased in 1.32...1.37 times.

Key words: agricultural machinery, sealing device, wear, friction coefficient, volume modification, organofluorine compound.

For citation: Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Ignatkin I.Yu., Skorohodov D.M., Belov M.I. Improving sealing elements of the bearing assembly of agricultural machinery. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(3): 68-72. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-68-72>.

Введение. Надежность отремонтированной сельскохозяйственной техники ниже, чем у новой [1], поэтому в настоящее время следует не только улучшать технологии ремонта [2], но рассматривать возможности применения различных модифицированных материалов. При ремонте подшипниковых узлов замене подлежат 100% манжет [3]. Основной причиной нарушения работоспособности уплотнений является износ по внутреннему диаметру (87% манжет), приводящий к снижению натяга до величины меньше минимального функционального [4, 5] и, как следствие, к превышению допускаемых утечек. Износ и утечки увеличиваются ввиду значительного влияния таких отклонений формы и расположения поверхностей, как радиальное биение и несоосность оси вала относительно оси манжеты [6], что теоретически можно описать моделью постепенного параметрического отказа соединения с натягом [7]. Нарушение герметичности соединения «Вал-уплотнение» наблюдается у 70% ремонтируемых редукторов [8].

В соединениях «Вал-уплотнение» более интенсивно изнашиваются манжеты [9], их износ по внутреннему диаметру составляет до 2,3 мм [10]. Износ манжет зависит от антифрикционных свойств резины. Улучшить эти свойства можно изменением состава резиновой смеси и (или) энергии

поверхностного слоя изделий, созданием на поверхности износостойкой пленки¹ или обработкой поверхностей трения ПАВ [11]. Так, фторорганическое соединение (ФС), входящее в состав эпилама, позволяет образовывать мономолекулярный слой защитной пленки ПАВ, который увеличивает износостойкость и уменьшает сопротивление трению [12].

Исследования модифицированных РТИ картофелеуборочных комбайнов показали, что добавление в состав резины ФС в количестве 0,5...2,0% приводит к уменьшению адгезии и к улучшению физико-механических свойств резин [13]. В работах В.С. Юровского² и в исследовании [14] отмечено, что ФС улучшают физико-механические и антифрикционные свойства резин, оптимальным количеством вводимых ФС является 0,5...1,0 масс. ч. на 100 массовых частей каучука.

Цель исследований: совершенствование уплотнительных устройств подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники за счет улучшения их трибологических свойств.

Материалы и методы. Для определения влияния модифицирования уплотнений на величину силы трения и износостойкость соединения «Вал-манжета» проводили стендовые испытания уплотнительных узлов (рис. 1). Частота вращения вала варьировалась в диапазоне 50...3000 мин⁻¹.

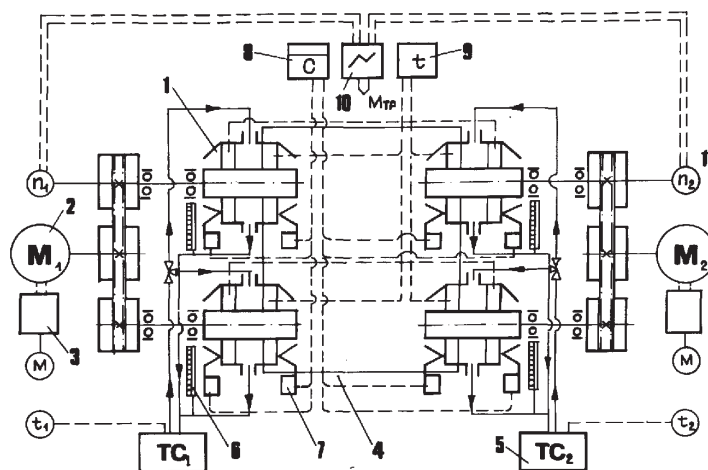


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда:

1 – рабочая камера; 2 – электропривод; 3 – датчик колебаний частоты вращения; 4 – основание; 5 – термостат; 6 – уровнемер; 7 – датчик утечки; 8 – блок счетчиков; 9 – потенциометр; 10 – шлейфный осциллограф; 11 – тахометр

Fig. 1. Schematic diagram of the test bench:

1 – working chamber; 2 – electric drive; 3 – oscillation sensor of the rotation frequency; 4 – base; 5 – thermostat; 6 – level gauge; 7 – leakage sensor; 8 – block of counters; 9 – potentiometer; 10 – loop oscilloscope; 11 – tachometer

¹ Гарбар И.И., Логинов С.В., Рябинин Н.А. и др. // Износ в машинах и методы защиты от него: Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Брянск: Брянский технологический институт, 1985. С. 147-148.

² Юровский В.С., Краснов А.П., Афоничева О.В. и др. Совершенствование рецептуры резиновых смесей для теплостойких уплотнителей // Каучук и резина. 1999. № 1. С. 23-24.

Испытывались соединения, состоящие из стальной втулки диаметром 45 мм из стали 45 ГОСТ 1050-88 с поверхностной твердостью не менее HRC32, шероховатостью $Ra = 0,32$ и манжет трех типов: серийных (ГОСТ 8752-79); модифицированных спирт-теломером (ФС-1) и модифицированных фторпарафином (ФС-2) (рис. 2). Все манжеты были изготовлены на одном заводе одной группы и партии резины. Содержание фторорганических соединений в составе резиновой смеси – 1 масс. ч. на 100 массовых частей каучука.



Рис. 2. Внешний вид образцов

Fig. 2. View of samples

Для исследования фрикционных характеристик и проведения ускоренных испытаний вместо рабочей камеры устанавливали устройство для измерения усилия трения в уплотнительном узле (рис. 3).

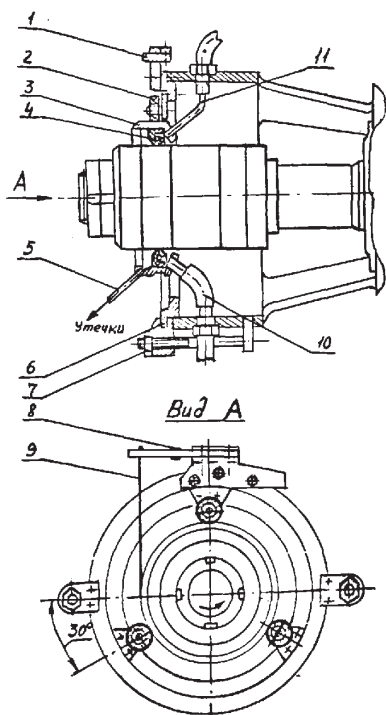


Рис. 3. Схема устройства для измерения усилия трения в соединении «Вал-манжета»:

- 1 – тензобалка; 2 – ролики; 3 – обойма поворотная;
4 – уплотнение; 5 – трубка отводная; 6 – корпус;
7 – зажим; 8 – тензодатчик; 9 – нить жесткая;
10, 11 – маслопроводы

Fig. 3. Scheme of a device for measuring the friction force in the “shaft-to-collar” connection:

- 1 – strain gauge; 2 – rollers; 3 – swivel clip; 4 – seal;
5 – outlet tube; 6 – body; 7 – clamp; 8 – load cell;
9 – hard thread; 10, 11 – oil pipelines

Для определения износа манжеты замеряли ширину рабочей кромки на двухкоординатном измерительном приборе ДИП-6 с оптико-электронной измерительной системой НИИК-890 (рис. 4). Количество повторений при измерениях выбирали согласно рекомендациям³. Полученные значения делили на коэффициент 0,97233, учитывающий уклон стакана.

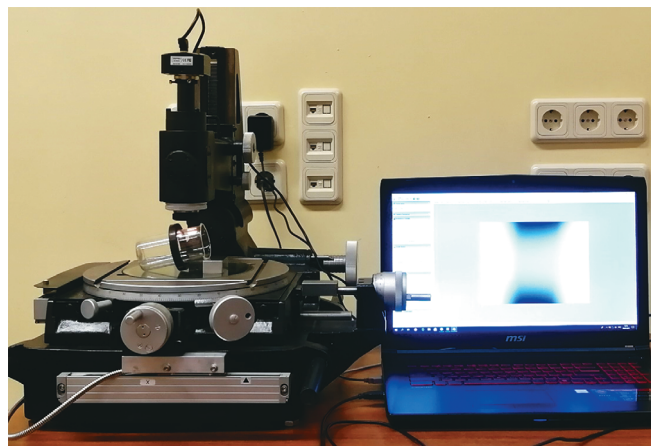


Рис. 4. Устройство для измерения ширины рабочей кромки манжеты

Fig. 4. Device for measuring the width of the working edge of the collar

Результаты и их обсуждение. Влияние модифицирования на изменение силы трения в соединении «Вал-манжета» и износ манжет определяли при ускоренных стендовых испытаниях на трех трибосоединениях (табл.).

Изменение силы трения и коэффициента трения представлено на рисунке 5, износ по ширине рабочей кромки – на рисунке 6.

Согласно результатам испытаний (рис. 5, 6) у модифицированных уплотнений по сравнению с серийными наблюдается снижение коэффициента трения в 1,32...1,37 раза, снижение износа – в 1,83...1,94 раза.

Значительное улучшение антифрикционных свойств модифицированных резин объясняется низкой поверхностной энергией и смазывающей способностью ФС. Снижение коэффициента трения вызывает уменьшение температуры и снижение износа рабочей кромки манжет. В начальный период работы коэффициент трения снижается незначительно, что объясняется низкой скоростью миграции ФС из объема к поверхности резины вследствие недостаточного разогрева. При дальнейшей работе уплотнительного узла происходит истирание поверхностного слоя резины, имеет место миграция ФС из объема на поверхность резины и вала. Независимо от интенсивности истирания поверхность резины защищена пленкой ФС. При этом ФС выполняют роль смазки, что особенно важно в момент пуска агрегата и работы уплотнительного узла в режиме отсутствия смазки в зоне трения.

³ Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. М.: Колос, 1973. 199 с.

Таблица

Материалы трибосоединений

Table

Tribocconnection materials

Материал вала Shaft material	Материал манжеты Collar material
Сталь 45 Steel 45	Исходная резина на основе бутадиен-нитрильного каучука ИРП-1068 Initial rubber based on nitrile rubber IRP-1068
Сталь 45 Steel 45	Исходная резина модифицированная ФС-1 Initial modified rubber FS-1
Сталь 45 Steel 45	Исходная резина модифицированная ФС-2 Initial modified rubber FS-2

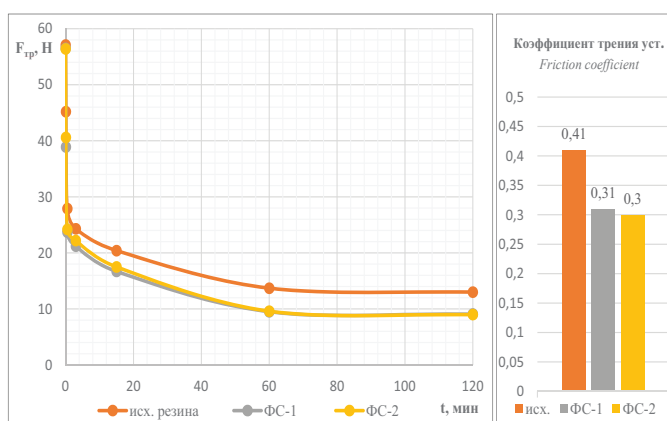


Рис. 5. Изменение силы трения и коэффициента трения
Fig. 5. Change in friction force and friction coefficient

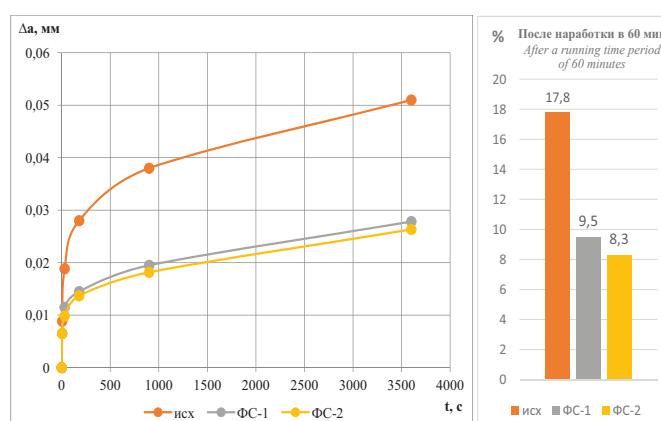


Рис. 6. Износ по ширине рабочей кромки манжет
Fig. 6. Wear along the width of the working edge of the collars

Выводы

1. Нарушение герметичности соединений «Вал-манжета» снижает надежность машин, увеличивает затраты на ремонт, повышает расход смазочных материалов.
2. Объемное модифицирование фторорганическими соединениями позволяет значительно улучшить анти-

фрикционные свойства резины, что выражается снижением коэффициента и силы трения в соединении «Вал-манжета».

3. Стендовые испытания показали снижение износа модифицированных уплотнений по сравнению с серийными в 1,83...1,94 раза, снижение коэффициента трения – в 1,32...1,37 раза.

Библиографический список

1. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Составляющие качества ремонта // Сельский механизатор. 2016. № 7. С. 2-4.
2. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Теоретические основы выбора рациональных способов восстановления деталей // Сельский механизатор. 2019. № 5. С. 38-39.
3. Ерохин М.Н. Детали машин и основы конструирования / М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, А.В. Карп и др. М.: КолосС, 2011. 512 с.
4. Erokhin M.N., Leonov O.A., Kataev Yu.V., Melnikov O.M. Tightness and leakage in applying reinforced rubber sleeves to shafts. Russian Engineering Research. 2019; 39 (6): 459-462.
5. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Катаев Ю.В., Мельников О.М. Расчет предельного натяга в соединениях «Вал-манжета» // Инновационные технологии реновации в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 150-летию

References

1. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Sostavlyayushchie kachestva remonta [Components of the repair quality]. Sel'skiy mekhanizator, 2016; 7: 2-4. (In Rus.)
2. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Teoreticheskie osnovy vybora ratsional'nykh sposobov vosstanovleniya detaley [Theoretical foundations for choosing rational methods for restoring parts]. Sel'skiy mekhanizator, 2019; 5: 38-39. (In Rus.)
3. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Karp A.V. et al. Detali mashin i osnovy konstruirovaniya [Machine parts and design basics]. Moscow, KolosS, 2011. 512 p. (In Rus.)
4. Erokhin M.N., Leonov O.A., Kataev Yu.V., Melnikov O.M. Tightness and leakage in applying reinforced rubber sleeves to shafts. Russian Engineering Research, 2019; 39(6): 459-462.
5. Erokhin M.N., Leonov O.A., Kataev Yu.V., Melnikov O.M. Raschet predel'nogo natyaga v soyedineniyakh "val-manzhe-ta" [Analyzing the limiting tightness in the "shaft-to-collar" connections]. Innovatsionnye tekhnologii renovatsii v mashinostroyenii: Sb. trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchonnoy 150-letiyu fakul'teta "Mashinostroyitel'nye tekhnologii" i kafedry "Tekhnologii obrabotki materialov" MGTU

факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана; под общ. ред. В.Ю. Лавриненко. М.: Московский государственный областной университет, 2019. С. 311-315.

6. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Амелин С.С., Бодунов Д.М. Применение размерного анализа для расчета суммарного отклонения от соосности манжеты относительно вала // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2021. № 6. С. 61-67. <https://doi.org/10.31857/S0235711921060067>

7. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Расчет допуска посадки с натягом по модели параметрического отказа // Вестник машиностроения. 2019. № 4. С. 23-26.

8. Игнаткин И.Ю., Дроздов А.В. Способ восстановления вала редуктора с применением упрочненной ремонтной детали // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 9. С. 13-17.

9. Леонов О.А. Предельное состояние соединений «Вал-уплотнение» // Технический сервис в агропромышленном комплексе: Сборник научных трудов Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. М.: Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина, 1998. С. 25-31.

10. Мельников О.М., Казанцев С.П., Чеха О.В. Оценка показателей качества деталей и соединения «Вал-манжета» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 5 (93). С. 8-13. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-5-8-13>

11. Гайдар С.М., Волков А.А., Карелина М.Ю. Адсорбция Фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 113-123.

12. Сальниковое уплотнение: патент на полезную модель № 55064 / С.М. Гайдар, А.В. Серяков, Л.П. Захаров; заявл. 02.02.2006; опубл. 27.07.2006. Бюл. № 21.

13. Ерохин М.Н., Выхребенцев Н.А. Исследование влияния полимерных добавок на основе фтора на физико-механические свойства // Технические средства для обеспечения интенсивных технологий сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов МИИСП. 1991. С. 91-97.

14. Мельников О.М. Влияние фторорганических соединений на физико-механические свойства резины для манжетных уплотнений сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 3 (85). С. 42-46.

Критерии авторства

Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Скороходов Д.М., Белов М.И. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Скороходов Д.М., Белов М.И. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.03.2022

Одобрена после рецензирования 26.04.2022

Принята к публикации 26.04.2022

im. N.E. Bauman; ed. by V.Yu. Lavrinenko. Moscow, Moscow State Regional University, 2019: 311-315. (In Rus.)

6. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Amelin S.S., Bodunov D.M. Primenenie razmernogo analiza dlya rascheta summarnogo otkloneniya ot soosnosti manzhety odnositel'no vala [Application of dimensional analysis to calculate the total deviation from the collar alignment relative to the shaft]. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin*, 2021; 6: 61-67. <https://doi.org/10.31857/S0235711921060067> (In Rus.)

7. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Raschet dopuska posadki s natyagom po modeli parametricheskogo otказа [Determining the interference fit tolerance using the model of parametric failure]. *Vestnik mashinostroyeniya*, 2019; 4: 23-26. (In Rus.)

8. Ignatkin I.Yu., Drozdov A.V. Sposob vosstanovleniya vala reduktora s primeneniem uprochnennoy remontnoy detali [Method for restoring the gearbox shaft using a hardened repair part]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*, 2020; 9: 13-17. (In Rus.)

9. Leonov O.A. Predel'noe sostoyanie soedineniy "Val-uplotneniye" [Limit state of "shaft-to-seal" connections. In: *Tekhnicheskij servis v agropromyshlennom komplekse: Sbornik nauchnykh trudov Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina*. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkin, 1998: 25-31. (In Rus.)

10. Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Chekha O.V. Otsenka pokazateley kachestva detaley i soyedineniya "val-manzheta" [Evaluation of the quality indicators of parts and the "shaft-to-collar" connection]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2019; 5 (93): 8-13. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-5-8-13> (In Rus.)

11. Gaydar S.M., Volkov A.A., Karelina M.Yu. Adsorbtsiya Ftor-PAV i ee vliyaniye na smazku tribosopryazheniy v usloviyakh granichnogo i gidrodinamicheskogo treniya [Fluorine-surfactant adsorption and its effect on the lubrication of tribocouplings under boundary and hydrodynamic friction]. *Trudy GOSNITI*. 2015; 118: 113-123. (In Rus.)

12. Gaydar S.M., Seryakov A.V., Zakharov L.P. Packing seal [Sal'nikovoe uplotnenie]: Patent for utility model No. 55064, 2006. (In Rus.)

13. Erokhin M.N., Vyskrebentsev N.A. Issledovanie vliyaniya polimernykh dobavok na osnove ftora na fiziko-mekhanicheskiye svoystva [Study of the influence of fluorine-based polymer additives on physical and mechanical properties]. *Tekhnicheskkiye sredstva dlya obespecheniya intensivnykh tekhnologiy sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: Sb. nauch. trudov MIISP*, 1991: 91-97. (In Rus.)

14. Mel'nikov O.M. Vliyaniye ftororganicheskikh soedineniy na fiziko-mekhanicheskiye svoystva reziny dlya manzhetnykh uplotneniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Influence of organofluorine compounds on the physical and mechanical properties of lip seal rubber for agricultural machinery]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2018; 3 (85): 42-46. (In Rus.)

Contribution

O.M. Melnikov, S.P. Kazantsev, I.Yu. Ignatkin, D.M. Skorohodov, M.I. Belov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. O.M. Melnikov, S.P. Kazantsev, I.Yu. Ignatkin, D.M. Skorohodov, M.I. Belov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 17.03.2022

Approved after reviewing 26.04.2022

Accepted for publication 26.04.2022