

machinery]: PhD (Eng) thesis: 05.20.03. Moscow, 2001: 156. (In Rus.)

6. Kononenko A.S., Solovyeva A.A. Ustroistvo dlya otsenki adgezionnykh svoystv germetikov pri sdvige [Device for evaluating the adhesion properties of sealants when shifting]: Patent for a utility model No. 180309 RF, 2018. (In Rus.)

7. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Adgezionnaya prochnost' sostavov kholodnogo otverzheniya i nanokompozitsiy na ikh osnove [Adhesive strength of cold curing compounds and its nanocomposites]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016; 11: 10-14. (In Rus.)

8. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Stoikost' polimernykh sostavov kholodnogo otverzheniya i nanomodifikatsiy na ikh osnove k vibratsionnym nagruzkam [Resistance

of polymeric structures of cold hardening and its nanomodifications to vibration loads]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016; 3: 22-25. (In Rus.)

9. Rozhnov A.B., Psarev D.N., Li R.I., Khatuntsev V.V., Mishin M.M., Astapov S.Yu. Tekhnologiya mekhanizirovannogo naneseniya polimernykh pokrytiy na podshipniki kacheniya [Technology of mechanized applying polymeric coatings on roller bearings]. *Dostigeniya nauki i tekhniki v APK*, 2016; 30(5): 86-88. (In Rus.)

10. Rozhnov A.B., Li R.I. Perspektivnyy polimerniy kompozitsionnyy nanomaterial dlya fiksatsii detaley podshipnikovogo uzla v transmissii avtotraktornoy tekhniki [Promising polymeric composite nanomaterial for fixing parts of a bearing assembly in autotractor gearboxes], 2016; Vol. 3; 1 (4): 519. (In Rus.)

Критерии авторства

Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 13.05.2019

Опубликована 18.10.2019

Contribution

A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov 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 paper was received on May 13, 2019

Published 18.10.2019

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 658.562.012.7

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ-МАНЖЕТА»

МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

КАЗАНЦЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ, докт техн. наук, профессор

E-mail: kspts@bk.ru

ЧЕХА ОЛЬГА ВЯЧЕСЛАВОВНА

E-mail: olgachekha@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация

От долговечности уплотнительных устройств во многом зависит ресурс ходовой части, трансмиссии и других агрегатов сельскохозяйственных машин. Перечислены причины потери работоспособности уплотнений: износ поверхности по внутреннему диаметру (87%), растрескивание кромки в результате старения и усталостного разрушения (14%), слипание манжеты с валом и последующее ее разрушение (9%). С целью анализа параметров новых уплотнений исследована партия манжет типоразмера 1.1-45×65-1 ГОСТ 8752-79 в количестве 200 шт. Приведены некоторые параметры оценки новых и изношенных манжет и валов. Представлены гистограммы и теоретические кривые рассеяния натяга и контактного давления рабочей кромки манжет. Проведен однофакторный эксперимент зависимости натяга новых манжет от контактного давления на вал $N = f(p)$. Установлено, что данные величины независимы, о чем свидетельствует полученный коэффициент корреляции, равный 0,016. Перечислены характерные дефекты валов: износ поверхности, сопряженной с манжетой, царапины, трещины и коррозионные

разрушения поверхности. Указано, что уменьшения износа вала можно добиться увеличением твердости его поверхности. Уменьшение износа рабочей кромки манжеты возможно за счет применения более износостойкой и антифрикционной резины.

Ключевые слова: качество, манжета резиновая армированная, вал, натяг, давление, размер, износ, отклонение.

Формат цитирования: 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. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13.

EVALUATION OF QUALITY INDICATORS OF “SHAFT-CUFF” PARTS AND ASSEMBLIES

OLEG M. MELNIKOV

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

SERGEI P. KAZANTSEV, DSc (Eng), Professor

E-mail: kspts@bk.ru

OLGA V. CHEKHA

E-mail: olgachekha@rgau-msha.ru

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The service life of the running gear, the drive line and other units of agricultural machines depends on the durability of sealing assemblies. The author lists reasons for the loss of sealing performance: surface wear along the inner diameter (87%), edge cracking as a result of aging and fatigue failure (14%), sticking of a cuff to a shaft with subsequent destruction of the former (9%). To analyze the parameters of new seals, a batch of cuffs sized 1.1-45×65-1 GOST 8752-79 in an amount of 200 pcs were studied. The paper presents some parameters for evaluating new and worn cuffs and shafts. The histograms and theoretical curves of the scattering of the interference fit and contact pressure of the working edge of cuffs are presented. A one-factor experiment was conducted to analyze the relationship between the interference of new cuffs and the contact pressure on the shaft $N = f(p)$. It has been found that these values are independent, as evidenced by the obtained correlation coefficient that is equal to 0.016. The paper lists characteristic defects of shafts: wear of the surface contacting with a cuff, scratches, cracks and corrosion damage of the surface. It is indicated that the shaft wear can be reduced by increasing the hardness of its surface. Reducing the wear of the cuff's working edge is possible due to the use of more wear-resistant and antifriction rubber.

Key words: quality, rubber reinforced cuff, shaft, tension, pressure, size, wear, deviation.

For citation: Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Chekha O.V. Evaluation of quality indicators of “shaft-cuff” parts and assemblies. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 5(93): 8-13. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13 (In Rus.).

Введение. Проблема повышения надёжности уплотнительных устройств привлекает к себе пристальное внимание, поскольку от их долговечности во многом зависит ресурс ходовой части, трансмиссии и других агрегатов сельскохозяйственных машин в целом и картофелеуборочных комбайнов в частности [1]. Уплотнительные устройства, имеющие несколько разновидностей, защищают узел трения от проникновения из окружающей среды посторонних веществ, в том числе от твердых абразивных частиц [2].

Как показывает статистика, 90% случаев аварийных разрушений подшипниковых узлов вызвано неудовлетворительной работой уплотнений [3]. Даже незначительное нарушение герметичности подшипниковых узлов в условиях эксплуатации машин снижает надёжность их работы, повышает расход смазочных материалов и потребность в запасных частях, а иногда приводит к разрушению целых узлов машины. Так при капитальном ремонте энергонасыщенных тракторов подлежит замене 100% уплотнений, а 10...80% сопряжённых с ними деталей требуют восстановления [4]. Ресурс манжетных уплотнений после капитального ремонта составляет 20...50%

от нормативного [5]. Утечки масел в энергонасыщенных тракторах составляют 23...28% и более от общего числа отказов, в гидроагрегатах до 44% приходится на уплотнения [6]. При этом происходит загрязнение сельскохозяйственных угодий и продукции. Известно, что от правильного назначения начальных размерных (конструктивных) параметров элементов любого соединения во многом зависит надёжность и долговечность не только этого соединения, но и агрегата в целом [7].

Цель исследований – анализ показателей качества новых и изношенных деталей соединения «вал – манжета» с целью выявления несоответствий и постановки задачи по повышению эксплуатационной надёжности соединения.

Материал и методы. В качестве объекта исследования выступает манжета резиновая армированная, типоразмера 1.1-45×65-1 ГОСТ 8752-79 и сопрягаемая с нею поверхность вала. При обработке результатов измерений использовались статистические методы с расчётом средних значений, среднеквадратических отклонений, выявлялись границы рассеяния, подбирались теоретический закон распределения, а также проводился корреляционный анализ.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного анализа конструкции картофелеуборочных комбайнов ККУ-2А «Дружба» и КПК-3 установлено, что наиболее применяемый типоразмер манжет с внутренним диаметром 45 мм [8].

С целью анализа некоторых параметров качества новых уплотнений была исследована партия манжет типоразмера 1.1-45×65-1 ГОСТ 8752-79 в количестве $n = 200$ шт. по параметрам, представленным в таблице 1.

В ГОСТ 8752-79 изложено, что при нормируемой вероятности безотказной работы 0,95 должен быть обеспечен ресурс манжеты в 3000 ч.

Параметрами, наиболее заслуживающими внимания, являются натяг и контактное давление рабочей кромки манжеты на вал в связи с тем, что они уменьшаются вследствие износа манжеты и вала. Гистограммы и теоретические кривые рассеяния этих параметров манжет приведены на рисунках 1, 2.

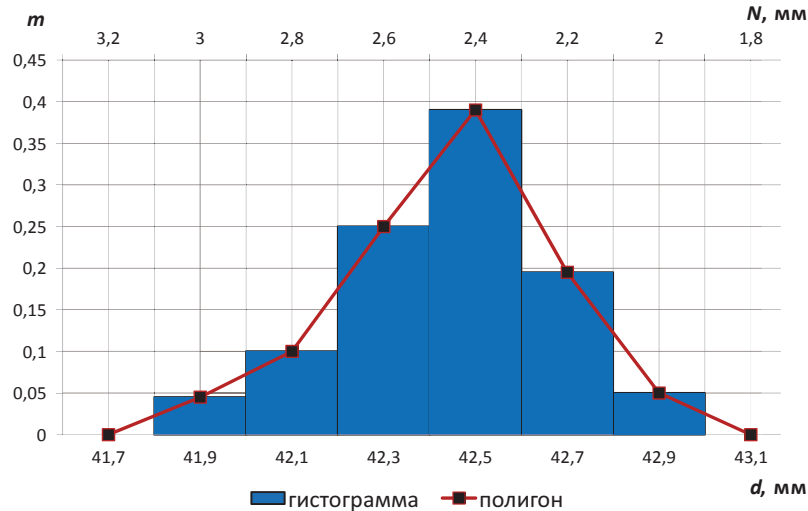


Рис. 1. Рассеяние размеров и натягов манжет

Fig. 1. Dispersion of the sizes and interference fits of cuffs

На рисунке 1 отображено, что эмпирические данные совпадают с законом Симпсона (треугольным), а это значит, что на формирование внутреннего диаметра манжеты оказывают влияние только два доминирующих фактора: размер формы для изготовления манжет, размер и усилие пружины [9]. В целом по размерам внутреннего диаметра (занижение) выявлено 4,5% брака и 3% брака по натягу (завышение соответственно). Такой брак фактически

не влияет на вероятность безотказной работы манжеты в начале эксплуатации узла, но будет влиять на вероятность безотказной работы, связанную с ресурсом соединения.

Особенно следует уделить внимание размерам сопрягаемых элементов. Диаметр манжеты составляет $45_{-3,0}^{+2,0}$ мм, а диаметр вала $45h11$ ($45_{-0,16}$ мм). Прослеживается неравенство допуска на внутренний диаметр манжеты $T_D = 1,0$ мм и вала $T_d = 0,16$ мм.

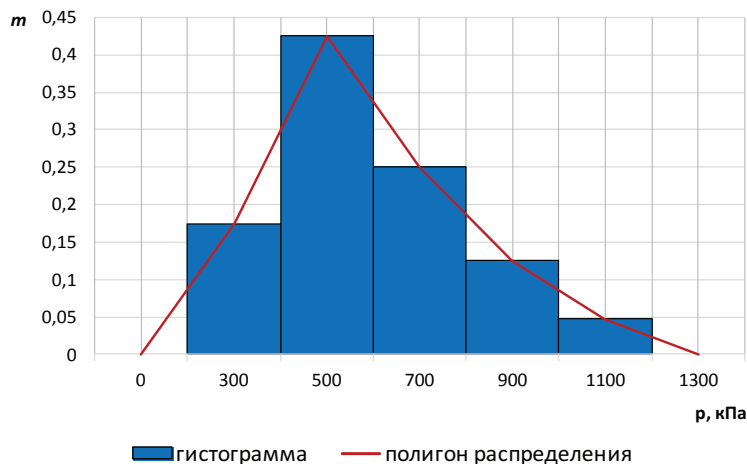


Рис. 2. Рассеяние давления манжет на вал

Fig. 2. Dispersion of the cuff pressure on the shaft

Давление манжеты на вал не нормируется в технических условиях, поэтому процент брака не рассчитывается

для этого параметра, хотя можно сделать замечание, что полученные данные свидетельствуют о большом

рассеянии величин контактного давления, что связано с рассеянием величин ширины зоны контакта и усилия обжатия, зависимость между которыми выражается формулой

$$p = F/(d \cdot a).$$

Известно, что существует прямая зависимость изменения натяга от давления [10]. В результате проведения однофакторного эксперимента для выявления зависимости $N = f(p)$ был получен коэффициент корреляции $r = 0,016$. На основе его сделан вывод о том, что исследуемые величины независимы (для новых манжет).

Таблица 1

Показатели исследуемой партии новых манжет 1.1-45×65-1

Table 1

Indicators of the studied batch of new cuffs 1.1-45×65-1

Параметр	Внутренний диаметр манжет, d, мм	Усилие обжатия F, Н	Натяг манжеты на вал, N, мм	Контактное давление, p, кПа	Ширина контактной зоны манжеты a, мм
Размах выборки X_{\min} X_{\max}	41,88 43,01	5,4 9	1,83 3,12	220 1200	0,15 0,61
Среднее значение, \bar{X}	42,45	7,14	2,48	580	-
Среднеквадратическое отклонение, σ	0,23	0,74	0,236	202,8	-
Коэффициент вариации, v	0,16	0,42	0,16	0,36	-
Закон распределения, вероятность согласия	ЗС 55%	ЗНР 10%	ЗС 55%	ЗВ 50%	ЗВ 25%
Допускаемое значение параметра	$45_{-3,0}^{-2,0}$	-	1,9...3,0	-	-
Брак	4,5%	-	3%	-	-

Для обеспечения нормальной работы уплотнительного устройства требуется очень высокая чистота обработки поверхности вала в зоне контакта и точность сборки деталей соединения. Анализ шероховатости поверхностей валов под манжету показал, что в большинстве случаев она совпадает с шероховатостью поверхностей валов, обработанных для посадок подшипников качения. Причиной этому выступает человеческий фактор, когда технолог, проектируя процесс обработки, на соседние участки назначает одни и те же режимы и оборудование, т.е. под манжеты шероховатости, как под подшипники $R_a = 2,5...0,63$ мкм, чаще всего $R_a = 1,25$ мкм. Это вызывает повышенный износ манжеты. По данным при скорости вала $v \geq 5$ м/с необходима шероховатость $R_a = 0,16...0,32$ мкм, а при v до 5 м/с $R_a = 0,32...0,63$ мкм [11].

Требуемая твердость не менее HRC30...50, также не соблюдается у 30...70% анализируемых валов [11].

В результате анализа износа деталей соединения «вал-манжета» были получены данные, представленные в таблице 2.

Потеря работоспособности манжет чаще всего происходит из-за следующих дефектов: износа поверхности по внутреннему диаметру (87%), растрескивания кромки в результате старения и усталостного разрушения (14%), слипания манжеты с валом и последующего ее разрушения (9%). Выбраковка манжет при ремонте происходит из-за вышеперечисленных дефектов, а также из-за слипания, старения и разрушения поверхности манжеты по наружному диаметру (35%) в результате

взаимодействия с уплотняемой средой и поверхностью крышки. Манжеты имеют неравномерный износ поверхности рабочей кромки из-за отклонения от соосности и радиального биения. Коэффициент неравномерности износа внутреннего диаметра может достигать величины $\beta = 1,5$.

Валы редукторов в местах контакта с уплотнениями изнашиваются незначительно (до 0,25 мм), из них 27% по диаметру валов входят в поле допуска изготовления, а 73% валов требуют восстановления (табл. 2).

У вала изнашиванию подвергается незначительный поверхностный слой металла, хотя он имеет явно выраженный местный характер в виде узкой шлифованной абразивной канавки, при $\beta = 1,1$. Характерными дефектами валов являются износ поверхности, сопряженной с манжетой, царапины, трещины и коррозионные разрушения.

Таким образом, необходимы исследования по сохранению герметичности соединения «вал-манжета» по следующим направлениям:

- уменьшение износа поверхности вала;
- уменьшение износа рабочей кромки манжеты;
- повышение антифрикционных свойств пары трения;
- обеспечение достаточного натяга и усилия прижатия рабочей кромки манжеты к валу.

Уменьшение износа вала можно добиться увеличением твердости его поверхности. При соблюдении рекомендаций уменьшение износа рабочей кромки манжеты возможно получить за счет более износостойкой и антифрикционной резины [11].

Показатели изношенных манжет 1.1-45×65-1 и валов

Table 2

Indicators of worn cuffs 1.1-45×65-1 and shafts

Параметр	Для диаметров изношенных валов, d	Для диаметров изношенных манжет, D
Среднее значение, \bar{X} , мм	44,863	43,68
Среднеквадратическое отклонение, σ , мм	0,062	0,623
Объем выборки, n , шт	50	50
Коэффициент вариации, v	0,45	0,53
Закон распределения и вероятность согласия, %	ЗНР 55	ЗРВ 40
Количество годных деталей, %	27	23
Количество восстанавливаемых деталей, %	73	100% замена на новые
Доверительные границы рассеяния при $P = 0,9$, мм	44,761...44,964	42,80...44,79
Максимальный износ I_{\max} , мм	0,25	2,3
Средний износ, мм	0,09	1,18

Выводы

Геометрические и механические параметры манжет резиновых армированных, устанавливаемых на сельскохозяйственной технике, практически соответствуют предъявляемым к ним требованиям ГОСТ 8752-79. Повышенный износ и потеря уплотняющего эффекта соединения происходит главным образом из-за несоблюдения установленных норм шероховатости поверхности, твердости вала и недостаточной износостойкости резины. Повышение работоспособности соединения возможно путем уменьшения износа поверхности вала, путем уменьшения износа рабочей кромки манжеты, обеспечением оптимального прижатия рабочей кромки манжеты к валу и повышением антифрикционных свойств пары трения. Отдельно следует рассмотреть вопрос об уменьшении износа рабочей кромки манжеты за счет более износостойкой и антифрикционной резины.

Библиографический список

1. Ерохин М.Н., Выхребенцев Н.А. Реализация эффекта «безыносности» в сопряжениях «вал-уплотнение» // Международная науч.-практ. конференция, посвященная памяти академика В.П. Горячкина, 1998. С. 144-146.
2. Ерохин М.Н. Детали машин и основы конструирования. М.: Издательство КолосС, 2005. 462 с.
3. Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Детали машин. М.: ТРАНСЛОГ, 2018. 410 с.
4. Леонов О.А. Обеспечение качества ремонта унифицированных соединений сельскохозяйственной техники методами расчета точностных параметров: Дис... докт. техн. наук. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. 324 с.
5. Леонов О.А. Оптимизация норм взаимозаменяемости при ремонте уплотнительных узлов // Техника в сельском хозяйстве. 2004. № 2. С. 24-27.

6. Леонов О.А. Предельное состояние соединений «вал-уплотнение» // Технический сервис в агропромышленном комплексе. 1998. С. 25-31.

7. Ерохин М.Н. Проблемы точности и надежности соединений при ремонте сельскохозяйственной техники // Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов. 2005. 96 с.

8. Леонов О.А. Повышение долговечности подвижных соединений «вал-уплотнение» оптимизацией точностных параметров (на примере редукторов картофелеуборочных комбайнов): Дис... канд. техн. наук. М.: МГАУ, 1994. 150 с.

9. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. СПб.: Издательство Питер, 2010. 192 с.

10. Ерохин М.Н. Методика расчета и выбора посадок неподвижных соединений при ремонте сельскохозяйственной техники. М.: Издательство МГАУ, 2003. 43 с.

11. ГОСТ 8752-79. Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1981. 53 с.

References

1. Yerokhin M.N., Vyskrebentsev N.A. Realizatsiya efekta "bezyznosnosti" v sopryazheniyakh "val-uplotneniye" [Implementation of "desperation" effect in "shaft-seal" connections. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati akademika V.P. Goryachkina*, 1998: 144-146.
2. Yerokhin M.N. Detali mashin i osnovy konstruirovaniya [Machine parts and design principles]. Moscow, Izdatel'stvo KolosS, 2005: 462.
3. Yerokhin M.N., Kazantsev S.P. Detali mashin [Machinery parts]. Moscow, TRANSLOG, 2018: 410.
4. Leonov O.A. Obespecheniye kachestva remonta unifikirovannykh soyedineniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki metodami rascheta tochnostnykh parametrov: Dis... dokt.

tekh. nauk [Maintaining the repair quality of the unified connections of agricultural machinery with methods of calculating accuracy parameters: DSc (Eng) thesis]. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2004: 324.

5. Leonov O.A. Optimizatsiya norm vzaimozamenyayemosti pri remonte uplotnitel'nykh uzlov [Optimization of interchangeability rates in the repair of sealing units]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2004; 2: 24-27.

6. Leonov O.A. Predel'noye sostoyaniye soyedineniy "val-uplotneniye" [Limit state of the "shaft-seal" connection]. *Tekhnicheskij servis v agropromyshlennom komplekse*. 1998: 25-31.

7. Yerokhin M.N. Problemy tochnosti i nadezhnosti soyedineniy pri remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Problems of accuracy and reliability of connections in the repair of agricultural machinery]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy nadezhnosti i diagnostiki mashin i mekhanizmov*. 2005: 96.

8. Leonov O.A. Povysheniye dolgovechnosti podvizhnykh soyedineniy "val-uplotneniye" optimizatsiyey

tochnostnykh parametrov (na primere reduktorov kartofeleuborochnykh kombaynov). Dis... kand. tekhn. nauk [Increasing the durability of movable "shaft-seal" connections by optimizing accuracy parameters (as exemplified by gearboxes of potato harvesters). PhD (Eng) thesis. Moscow, MGAU, 1994: 150.

9. Shishkin I.F. Teoreticheskaya metrologiya. Chast' 1. Obshchaya teoriya izmereniy [Theoretical metrology. Part 1. General theory of measurements]. SPb., Izdatel'stvo Piter, 2010: 192.

10. Yerokhin M.N. Metodika rascheta i vybora posadok nepodvizhnykh soyedineniy pri remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Method of calculating and selecting seating fits of fixed joints in the repair of agricultural machinery]. Moscow, Izdatel'stvo MGAU, 2003: 43.

11. GOST 8752-79. Manzhety rezinovyie armirovannyye dlya valov. Tekhnicheskiye usloviya [Rubber reinforced cuffs for shafts. Technical conditions]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1981: 53.

Критерии авторства

Мельников О.М., Казанцев С.П., Чеха О.В. провели обобщение и написали рукопись. Мельников О.М., Казанцев С.П., Чеха О.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 25.05.2019

Опубликована 18.10.2019

Contribution

O.M. Melnikov, S.P. Kazantsev, O.V. Chekha summarized the material and wrote the manuscript. O.M. Melnikov, S.P. Kazantsev, O.V. Chekha 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 paper was received on May 25, 2019

Published 18.10.2019