

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356:005.6

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-48-52

ДЕФЕКТАЦИЯ ВАЛОВ И ШЕСТЕРЕН С ПОЗИЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ РЕДУКТОРОВ СЕЛЬХОЗМАШИН

ЛЕОНОВ ОЛЕГ АЛЬБЕРТОВИЧ✉, *д-р техн. наук, профессор*

oaleonov@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

ШКАРУБА НИНА ЖОРОВНА, *д-р техн. наук, доцент*

shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

ВЕРГАЗОВА ЮЛИЯ ГЕННАДЬЕВНА, *канд. техн. наук, доцент*

vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

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

Аннотация. Дефектацию основных деталей редукторов необходимо проводить для определения их технического состояния с целью оценки степени износа рабочих поверхностей и возможности их дальнейшего использования. В процессе дефектации детали сортируют на три группы: годные, негодные (неисправимый брак) и требующие ремонта (исправимый брак). Принимаемое решение об отнесении детали к той или иной группе основывается на результатах измерений контролируемых параметров, полученных с использованием выбранных оптимальных средств измерений (микрометра, штангенциркуля, индикатора и др.). Проведено исследование размеров новых и изношенных деталей, образующих соединения «Вал-втулка шестерни» Ø40H7/k6 в редукторах сельхозмашин. Получено, что брак по размерам отверстия составляет 12,45%, а брак по размерам вала – 8,69%. Выявлено, что наибольший износ отверстий достигает 0,082 мм, замене при ремонте подлежат около 19% шестерен по причине превышения внутреннего диаметра; валы изнашиваются до 0,12 мм, и бракуется их около 23%. Показано, что в новом соединении назначена переходная посадка, о чем свидетельствует наличие как зазоров, так и натягов (последние преобладают). Брак слева от допуска посадки составляет 0,91%, справа – 0,47%, поэтому на сборку можно допустить все новые отверстия и валы, в том числе оказавшиеся браком, но в соединениях брака практически не будет. При образовании соединений из изношенных деталей брак по наибольшему зазору составил более 25%, поэтому дефектация и сплошной контроль в этом случае необходимы. Показано, что анализ процессов контроля деталей при дефектации необходимо проводить с позиции параметров обеспечения качества сборки соединения.

Ключевые слова: дефектация, редуктор, деталь, износ, посадка, контроль, средства измерений.

Формат цитирования: Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Дефектация валов и шестерен с позиции обеспечения качества соединений при ремонте редукторов сельхозмашин // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 48-52. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-48-52>.

© Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., 2022



ORIGINAL PAPER

FAULT INSPECTION OF SHAFTS AND GEARS WHILE REPAIRING FARM MACHINERY REDUCTION MECHANISMS TO ASSURE THE QUALITY OF CONNECTIONS

OLEG A. LEONOV✉, *DSc (Eng), Professor*

oaleonov@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

NINA Zh. SHKARUBA, *DSc (Eng), Associate Professor*

shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

YULIA G. VERGAZOVA, *PhD (Eng), Associate Professor*

vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

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

Abstract. The fault inspection of the main parts of gearboxes aims to determine their technical condition and assess the degree of wear of the working surfaces and the possibility of their further use. In the process of fault inspection, parts are usually sorted into

three groups: fit, unfit (irreparable reject) and requiring repair (recoverable reject). The parts are separated into particular groups based on the measurement results of controlled parameters obtained using selected optimal measuring instruments (a micrometer, a caliper, an indicator, etc.). The authors have carried out a study of the dimensions of new and worn parts forming the $\varnothing 40H7/k6$ “shaft-to-gear bushing” connections used in farm machinery gearboxes. It has been found that the hole size defect amounts to 12.45%, and the shaft size defect is 8.69%. The study has revealed that the greatest wear of the holes reaches 0.082 mm, about 19% of gears are subject to replacement during repair due to their enlarged internal diameter, the shafts wear out to 0.12 mm, and about 23% of the shafts are defective. The authors have shown that a new connection has a transitional fit, as evidenced by the presence of both gaps and tightnesses, the latter prevailing. The reject is 0.91% to the left of the fit tolerance and 0.47% – to the right. This indicates that all new holes and shafts can be allowed for assembly, including those that turned out to be defective, but the resulting connection will be practically defectless. When connections are formed from worn parts, more than 25% of defects are due to the largest gap; therefore, fault inspection and continuous monitoring are necessary in this case. The article shows that the inspection analysis of parts in case of defects must be carried out taking into account the quality assurance parameters of the connection assembly.

Key words: fault inspection, gearbox, part, wear, fit, control, measuring instruments.

For citation: Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Fault inspection of shafts and gears while repairing farm machinery reduction mechanisms to assure the quality of connections. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(4): 48-52. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-48-52>.

Введение. Отечественные машины для АПК имеют уровень надежности ниже, чем зарубежные, и по этой причине чаще требуют ремонтных воздействий, поэтому контроль при ремонте должен играть важнейшую роль, особенно с учетом новых стандартов менеджмента качества [1, 2]. В процессе эксплуатации большинство ответственных соединений машин подвержено износу, происходит увеличение зазоров, наблюдается динамика изменения натягов в посадках различных сборочных единиц и агрегатов [3]. Недостаточная точность оборудования, применяемого в машиностроении, и устаревшие технологии по сравнению с зарубежным производством – вот главные причины проблем в обеспечении качества. Для повышения точности применяются методы селективной сборки и новые методы повышения долговечности соединений [4, 5]. Поэтому так важен процесс дефектации, когда принимается решение о принятии или забраковке изношенных деталей. Процесс дефектации и контроля при ремонте машин должен осуществляться при грамотном метрологическом обеспечении [6-8] и с использованием инструментов контроля качества.

В сельскохозяйственной технике весьма широко распространены редукторы, где в соединениях шестерен с валами используются шпоночные соединения. Нормы точности неподвижных цилиндрических соединений, имеющих шпонку, были проанализированы [9], разработана и предложена

новая методика расчета таких посадок [10]. Однако в эксплуатации находятся редукторы со шпоночными соединениями, у которых используются посадки с зазором или переходные, поэтому изучение вопросов их изнашивания и дальнейшего использования является актуальной задачей.

Цель исследований: экспериментальная оценка наибольшего зазора в соединении «Вал-втулка шестерни» при использовании бывших в эксплуатации и новых деталей в процессе ремонта редукторов сельхозтехники.

Материалы и методы. При проведении исследования дефектации деталей и соединения «Вал-втулка шестерни» редукторов сельхозтехники применялись теоретические и экспериментальные методы. Для обработки экспериментальных данных использовались методы теории вероятностей и математической статистики. Достоверность результатов расчетов гарантирована применением стандартных методик обработки статистических данных и использованием современного программного обеспечения. В работе использовалась методика обоснования объема информации для проведения экспериментальных исследований рабочих элементов машин и оборудования [11].

В качестве объектов исследований выбраны детали соединений «Вал-втулка шестерни» $\varnothing 40H7/k6$, установленные на универсальном редукторе Н 090.20.000 завода Моссельмаш. Параметры исследуемых деталей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры деталей, образующих соединения «Вал-втулка шестерни» редуктора Н 090.20.000

Table 1

Parameters of the parts forming the “shaft-to-gear bushing” connections of the Н 090.20.000 gearbox

Деталь <i>Part</i>	Контролируемый параметр <i>Controlled parameter</i>	Обозначение размера / <i>Size designation</i>		Предельные размеры, мм <i>Size limits, mm</i>		Допуск размера <i>T</i> , мкм <i>Tolerance size T, mkm</i>
		символическое, мм <i>symbolic, mm</i>	с отклонениями, мм <i>with deviations, mm</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	
Вал <i>Shaft</i>	Наружный диаметр поверхности под шестерню <i>Outer diameter of the surface for the gear</i>	<i>k6</i>	$40^{+0,018}_{+0,002}$	40,018	40,002	16
Шестерня <i>Gear</i>	Внутренний диаметр поверхности под вал <i>Inner diameter of the surface for the shaft</i>	<i>40H7</i>	$40^{+0,025}$	40,025	40,000	25

Микрометраж поверхности валов и отверстий проводился по методике [11] в двух плоскостях и двух сечениях (рис. 1).

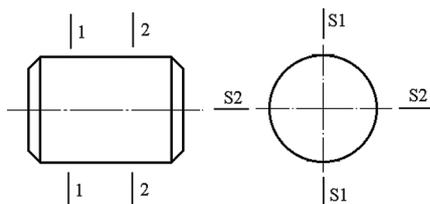


Рис. 1. Схема микрометража поверхности валов
Fig. 1. Diagram of the micrometry of the shaft surface

Средства измерений для микрометража и дефектации были выбраны в соответствии с требованиями к погрешности измерений по ГОСТ 8.051-81. Вал измерялся скобой рычажной

СР-50, а отверстие – нутромером повышенной точности НИ-50. Описание средств измерений представлено в таблице 2.

В результате исследования качества 20 шт. новых соединений «Вал-втулка шестерни» Ø40H7/k6, установленных на универсальном редукторе Н 090.20.000, выявлено, что рассеяние внутреннего диаметра шестерни и наружного диаметра валов подчиняется закону нормального распределения. Брак по размерам отверстия – 12,45%, брак по размерам вала – 8,69%. После исследования 48 шт. изношенных отверстий и валов выявлено, что наибольший износ отверстий составил 0,082 мм; при ремонте около 19% шестерен подлежат замене по причине превышения внутреннего диаметра; наибольший износ валов составил 0,12 мм; около 23% валов бракуются (табл. 3).

Параметры принятия решения о годности каждой из деталей к дальнейшей эксплуатации представлены в таблице 4.

Таблица 2

Метрологические характеристики средств измерений

Table 2

Metrological characteristics of measuring instruments

Средство измерений Measuring instrument	Условное обозначение Conditional designation	Диапазон измерений, мм Measuring range, mm	Цена деления, мм Graduation (scale division), mm	Погрешность измерений, мм Measurement error, mm
Нутромер индикаторный / Bore gauge	НИ-50-0,001	18...50	0,001	±0,002
Скоба рычажная / Caliper gauge	СР-50-0,002	25...50	0,002	±0,002

Таблица 3

Параметры разбраковки внутреннего диаметра шестерни и наружного диаметра валов

Table 3

Parameters of disassembly of the inner diameter of the gear and the outer diameter of the shafts

Параметр распределения, обозначение Distribution parameter, designation	Внутренний диаметр шестерни Inner diameter of the gear		Наружный диаметр валов Outer diameter of shafts	
	новые / new	изношенные / worn	новые / new	изношенные / worn
Среднее арифметическое, x, мм / Arithmetic mean, x, mm	40,0095	40,033	40,012	40,012
Среднее квадратическое, σ, мм / Average square, σ, mm	0,00755	0,05546	0,00424	0,0384
Зона рассеяния, ω, мм / Spread, ω, mm	0,04531	0,33276	0,02544	0,2304
Величина сдвига, c, мм / Shift amount, c, mm	-0,003	-	+0,002	-
Коэффициент риска (неисправимый брак), t ₁ Risk ratio (irreparable reject), t ₁	1,26	0,87/1,14*	2,36	0,73/0,99*
Коэффициент риска (исправимый брак), t ₂ Risk ratio (recoverable reject), t ₂	2,05	-	1,42	-
Вероятный процент исправимого брака, Q _{исб} , % Probable amount of recoverable reject, Q _{исб} , %	10,38	-	0,91	-
Вероятный процент неисправимого брака, Q _{неб} , % Probable amount of irreparable reject, Q _{неб} , %	2,07	19,22/12,71*	7,78	23,27/6,11*
Суммарный брак, Q _{бр} , % / Total reject, Q _{бр} , %	12,45	-	8,69	-

*Первая цифра для границы допустимого размера в сопряжении с деталями, бывшими в эксплуатации; вторая цифра для границы допустимого размера в сопряжении с новыми деталями (табл. 4).

Таблица 4

Параметры дефектации соединения «Вал-втулка шестерни»

Table 4

Fault inspection parameters of the “shaft-to-gear bushing” connection

Параметр Parameter	Размеры, мм / Dimensions, mm			Заключе- ние Conclusion
	по чертежу in the drawing	допустимые в сопряжении с деталями / allowed in conjunction with parts		
		бывшими в эксплуатации / used	новыми / new	
Вал редуктора Н 090.20.000: износ поверхности под шестерню Gearbox shaft H 090.20.000: wear of the surface for the gear	40 +0,018 +0,002	39,985	39,97	Ремонтировать Recoverable
Шестерня Н 090.20.601: износ поверхности под вал Gear H 090.20.601: wear of the surface for the shaft	40 ^{+0,025}	40,04	40,05	Ремонтировать Recoverable

Результаты и их обсуждение. Данные о формируемых зазорах и натягах в соединении новых валов и отверстий, а также о зазорах в соединении изношенных, но допущенных к дальнейшей эксплуатации деталей, представлены в таблице 5.

Исходя из представленных данных (табл. 5), можно сделать вывод о том, что в новом соединении назначена переходная

посадка, о чем свидетельствует наличие как зазоров, так и натягов, причем преобладают натяги, так как средний зазор – со знаком минус. Брак слева от допуска посадки составляет 0,91%, справа – 0,47%. Это свидетельствует о том, что на сборку можно допустить все новые отверстия и валы, в том числе оказавшиеся браком, но в итоге брак в соединениях практически будет отсутствовать.

Таблица 5

Параметры соединений новых деталей и деталей, допущенных к дальнейшей эксплуатации

Table 5

Connection parameters of new parts and parts approved for further use

Параметр посадки, обозначение Connection parameters, designation	Соединение деталей / Connection parts	
	новых / new	изношенных / used
Среднее квадратическое отклонение зазоров (натягов), σ , мм / Mean square deviation, σ , mm	0,00866	0,06745
Наибольший зазор, S_{max} / Maximum gap, S_{max}	0,025	0,065
Наибольший натяг, N_{max} / Maximum interference, N_{max}	0,018	–
Средний зазор / Average gap	–0,0025	+0,021
Коэффициент риска (по натягам), t_1 / Risk ratio (interference), t_1	2,37	–
Коэффициент риска (по зазорам), t_2 / Risk ratio (gap), t_2	2,60	0,65
Вероятный процент брака (по натягам), $Q_{но}$, % / Probable reject rate (interference), $Q_{но}$, %	0,91	–
Вероятный процент брака (по зазорам), $Q_{но}$, % / Probable reject rate (gap), $Q_{но}$, %	0,47	25,78
Суммарный брак, $Q_{бр}$, % / Total reject, $Q_{бр}$, %	1,38	–

При образовании соединений из изношенных деталей наблюдается свыше 25% брака по наибольшему зазору, поэтому дефектация и сплошной контроль в этом случае необходимы.

Выводы

1. Исследование размеров новых и изношенных деталей, образующих соединения «Вал-втулка шестерни» $\varnothing 40H7/k6$ в редукторах сельхозмашин Н 090.20.000 завода Моссельмаш, показало, что брак по размерам отверстия составляет 12,45%,

а брак по размерам вала – 8,69%. Наибольший износ отверстий достигает 0,082 мм; замене при ремонте подлежат около 19% шестерен по причине превышения внутреннего диаметра; валы изнашиваются до 0,12 мм; около 23% валов бракуются.

2. В новом соединении на сборку можно допустить все новые отверстия и валы. При образовании соединений из изношенных деталей необходимы дефектация и сплошной контроль. Анализ процессов контроля деталей при дефектации необходимо проводить с позиции параметров обеспечения качества сборки соединения.

Библиографический список

1. Грановский В.А. Метрологическое обеспечение на промышленном предприятии: проблемы и решения // Датчики и системы. 2009. № 8. С. 94-108. EDN: KYOZMJ
2. Кривов А.С. Метрологическое обеспечение высокотехнологичного производства с учетом новых стандартов менеджмента качества // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 11. С. 24-28. EDN: ZVZVEN

References

1. Granovsky V.A. Metrologicheskoe obespechenie na promyshlennom predpriyatii: problemy i resheniya [Metrological support at an industrial enterprise: problems and solutions]. *Datchiki i sistemy*, 2009; 8: 94-108. (In Rus.)
2. Krivov A.S. Metrologicheskoe obespechenie vysokotekhnologichnogo proizvodstva s uchedom novykh standartov menedzhmenta kachestva [Metrological support of high-tech production taking into account new standards of quality management]. *Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika*, 2017; 11: 24-28. (In Rus.)

3. 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. EDN: PIETRW

4. Kuznetsov Y.A., Kravchenko I.N., Glinskii M.A., Sevryukov A.A. Technological methods for increasing the life of machine components. *Russian metallurgy (Metally)*, 2019; 2019 (13): 1421-1426.

5. Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Belov A.I. Methodology of the justification and selection of rational methods of reconditioning machine components on the basis of neural network technologies. *Welding International*, 2011; 25 (3): 212-220.

6. Дорохов А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2009. № 2 (33). С. 73-75. EDN: JWSYPN

7. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 34-35. EDN: UNUIAN

8. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Эффективность инновационных измерительных устройств при оценке качества изделий сельхозтехники // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2012. № 7. С. 16-17. EDN: PAZUVN

9. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Катаев Ю.В., Мельников О.М. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек // Вестник машиностроения. 2019. № 3. С. 41-44. EDN: RMYNAQ

10. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Катаев Ю.В., Вергазова Ю.Г. Процентная взаимозаменяемость посадок с натягом // Вестник машиностроения. 2020. № 3. С. 41-44. EDN: CMBKOI

11. Бондарева Г.И., Орлов Б.Н. Обоснование объема информации для проведения экспериментальных исследований рабочих элементов машин и оборудования // Природообустройство. 2012. № 3. С. 105-108. EDN: PCCMKX

Критерии авторства

Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 18.03.2022

Одобрена после рецензирования 01.04.2022

Принята к публикации 24.05.2022

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

4. Kuznetsov Y.A., Kravchenko I.N., Glinskii M.A., Sevryukov A.A. Technological methods for increasing the life of machine components. *Russian metallurgy (Metally)*, 2019; 2019(13): 1421-1426.

5. Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Belov A.I. Methodology of the justification and selection of rational methods of reconditioning machine components on the basis of neural network technologies. *Welding International*, 2011; 25(3): 212-220.

6. Dorokhov A.S. Sovershenstvovanie vkhodnogo kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na dilerskikh predpriyatiyakh [Improving the input quality control of agricultural machinery at dealer enterprises]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2009; 2 (33): 73-75. (In Rus.)

7. Dorokhov A.S., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D.M. Sredstva kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Means of quality control of agricultural machinery]. *Sel'skii mekhanizator*, 2015; 10: 34-35. (In Rus.)

8. Semeikin V.A., Dorokhov A.S. Effektivnost' innovatsionnykh izmeritel'nykh ustroystv pri otsenke kachestva izdeliy sel'khoztekhniki [Effectiveness of innovative measuring devices in assessing the quality of agricultural products]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*, 2012; 7: 16-17. (In Rus.)

9. Erokhin M.N., Leonov O.A., Kataev Yu.V., Melnikov O.M. Metodika rascheta natyaga dlya soyedineniy rezinovykh armirovannykh manzhet s valami po kriteriyu nachala utechek [Method for calculating the preload for joints of reinforced rubber lip-type seals with shafts according to the criterion for the onset of leaks]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2019; 3: 41-44. (In Rus.)

10. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V., Vergazova Yu.G. Protsentnaya vzaimozamenyayemost' posadok s natyagom [Share of interchangeability of interference fits]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020; 3: 41-44. (In Rus.)

11. Bondareva G.I., Orlov B.N. Obosnovanie ob'ema informatsii dlya provedeniya eksperimental'nykh issledovaniy rabochikh elementov mashin i oborudovaniya [Determining the amount of information required for conducting experimental studies of the working elements of machines and equipment]. *Prirodoobustroystvo*, 2012; 3: 105-108. (In Rus.)

Contribution

O.A. Leonov, N.Zh. Shkaruba, Yu.G. Vergazova performed theoretical studies and, based on the results obtained wrote the manuscript. O.A. Leonov, N.Zh. Shkaruba, Yu.G. Vergazova 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 18.03.2022

Approved after reviewing 01.04.2022

Accepted for publication 24.05.2022