

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 658.562.64 : 621.43

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-59-63

ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДЕФЕКТАЦИИ КОРЕННЫХ ОПОР ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ

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

oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

ГОЛИНИЦКИЙ ПАВЕЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022

АНТОНОВА УЛЬЯНА ЮРЬЕВНА, канд. техн. наук, доцент

uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

ЛЕОНОВ ДМИТРИЙ ОЛЕГОВИЧ, магистрант

msau.l@yandex.ru

ЗИМОГОРСКИЙ ВЛАДИСЛАВ КИРИЛЛОВИЧ, магистрант

zimogorskij@rgau-msha.ru

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

Аннотация. Надежность при ремонте двигателей определяется множественными факторами. При этом важным критерием является сохранение геометрических параметров деталей двигателя в заданных пределах. Подшипник коленчатого вала является высоконагруженным соединением в двигателе. При износе или деформации отверстий под вкладыши коренных подшипников возможен проворот вкладышей, что приводит к отказу и внеочередному дорогостоящему ремонту. Установлено, что рекомендуемые средства измерений в нормативно-технической документации назначаются без связи с допусками контролируемых величин и имеют погрешность, значительно превышающую допускаемую погрешность измерения. Рассмотрена степень влияния погрешности измерений на зону рассеяния размеров коренных опор двигателя при дефектации. Теоретически доказаны критерии выбора средств измерений для контроля отверстий под вкладыши коренных подшипников. Определены предельные значения допускаемых погрешностей измерения и погрешности средств измерений для контроля износа или деформации отверстий под вкладыши коренных подшипников, поступающих на дефектацию. Рассмотрено влияние погрешности измерения на формирование вероятности ошибок при принятии решения о годности деталей. При измерении средством, рекомендуемым к применению руководством по ремонту двигателя, количество неправильно забракованных опор было на 6,9% больше, а количество неправильно принятых опор на 3,5% больше по сравнению с более точным нутромером с погрешностью $\pm 3,5$ мкм. Уменьшение погрешности измерений приводит к значительному снижению количества неправильно принятых и неправильно забракованных опор, что отражается на качестве последующей сборки соединения и на объеме внешних потерь от брака.

Ключевые слова: контроль, дефектация, точность, допуск, погрешность средства измерений, коренная опора

Формат цитирования: Леонов О.А., Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Леонов Д.О., Зимогорский В.К. Выбор средств измерений для дефектации коренных опор двигателя ЯМЗ // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24, № 6. С. 59-63. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-59-63>.

© Леонов О.А., Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Леонов Д.О., Зимогорский В.К., 2022



ORIGINAL PAPER

CHOOSING MEASURING INSTRUMENTS FOR THE FAULT DETECTION OF THE MAIN BEARING SUPPORTS OF THE YAMZ ENGINE

OLEG A. LEONOV , DSc (Eng), Professor

oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

PAVEL V. GOLINITSKIY, PhD (Eng), Associate Professor

gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022

ULIANA YU. ANTONOVA, PhD (Eng), Associate Professor

uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

DMITRIY O. LEONOV, *MSc student*

msau.l@yandex.ru

VLADISLAV K. ZIMOGORSKY, *MSc student*

zimogorskij@rgau-msha.ru

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

Abstract. Multiple factors determine the reliability in the engine repair, while an important criterion is the preservation of the geometric parameters of engine parts within the specified limits. The crankshaft bearing is a highly loaded unit in an engine. If the holes for the main bearing shells are worn or deformed, the shells may rotate, which will lead to failure and unscheduled repairs. The authors found out that measuring instruments typically recommended in the normative and technical documentation are assigned without regard to the tolerances of controlled quantities and have an error that significantly exceeds the permissible measurement error. The purpose of the work is to study the degree of influence of the measurement error on the dispersion zone of the dimensions of the mainbearing journals of the engine during fault detection. The authors have theoretically proven the criteria for choosing measuring instruments for monitoring holes for main bearing shells. The limit values of the permissible measurement errors and the errors of measuring instruments for monitoring wear or deformation of the holes for the liners of main bearings that are submitted for fault detection were also determined. The paper also considers the influence of the measurement error on the probability of errors when making a decision on the suitability of parts. When comparing the measuring instruments recommended for use by the engine repair manual, the number of incorrectly rejected parts is 6.9% more, and the number of incorrectly accepted parts is 3.5% more than when using a more accurate bore gauge with an error of ± 3.5 microns. Reducing the error of measuring instruments will lead to a significant reduction in the number of incorrectly accepted and incorrectly rejected parts. This, in turn, will affect both the quality of the subsequent assembly of units, and the amount of external losses resulting from faulty parts.

Keywords: control, accuracy, tolerance, measurement instrument error, main bearing support

For citation: Leonov O.A., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Yu., Leonov D.O., Zimogorsky V.K. Choosing measuring instruments for the fault detection of the main bearing supports of the YAMZ engine. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(6): 59-63. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-59-63>.

Введение. В настоящее время уровень качества единичного и мелкосерийного производства, к которому относится ремонтное производство, намного ниже уровня качества массового и крупносерийного производства [1]. Низкая рентабельность малых предприятий не позволяет закупать новое станочное оборудование и проводить техническое обслуживание имеющегося [2, 3], в связи с чем не достигается требуемая точность при изготовлении деталей, а также узлов и агрегатов машин [4-6].

Для предотвращения брака при сборке для поступающих деталей должны обеспечиваться единство измерений и требуемая точность. Повышением точности контроля можно снизить количество внешнего и внутреннего брака, а следовательно, снизить затраты на производстве [7, 8].

Ремонт двигателя внутреннего сгорания является одним из наиболее технически сложных видов ремонта узлов машин. У двигателя ЯМЗ-238 и его модификаций, устанавливаемых на различные виды техники, одной из дорогостоящих деталей является блок цилиндров.

При проведении дефектации коренных опор блока цилиндров для снижения числа неправильно принятых и неправильно забракованных деталей необходим рациональный выбор средств измерений.

Цель исследований: изучить влияние погрешности измерений на зону рассеяния отверстий коренных опор двигателя ЯМЗ при дефектации и на количество неправильно принятых и неправильно забракованных опор; определить вероятность выхода за границу дефектации у неправильно принятых опор.

Материалы и методы. При контроле выбор средств измерений линейных размеров необходимо осуществлять согласно ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86 [9].

Средство измерений (СИ) выбирается так, чтобы предельная погрешность измерения (Δlim) не превышала допускаемой погрешности измерения ($\delta_{изм}$) [9]:

$$\Delta lim \leq \delta_{изм} \quad (1)$$

При отсутствии рекомендаций в нормативно-технической документации допускаемая погрешность измерения принимается как 1/3 от допуска контролируемого параметра [10]:

$$\delta_{изм} = 0,33 \cdot T, \quad (2)$$

где T – допуск контролируемого параметра.

Исходными данными при выборе СИ являются указанные в нормативно-технической документации размеры физической величины (наименьшие и наибольшие), а также допуск контролируемого параметра [11, 12]. Так, для коренной опоры двигателя ЯМЗ-238 с номинальным размером $116^{+0,021}$ мм, допуском 21 мкм и допускаемой погрешностью $\delta_{изм} = 6,93$ мкм выбраковка в результате дефектации наступает при превышении наибольшего предельного размера $D > 116,021$ мм.

Влияние погрешности измерений на результаты дефектации оценивают при помощи трех параметров: процента неправильно принятых отверстий опор, процента неправильно забракованных отверстий опор, вероятностной величины выхода диаметра за границу допуска у неправильно забракованных опор (рис. 1) [13].

При определении вышеперечисленных параметров наиболее рационально применять коэффициент точности измерения:

$$A_{мет} = (\sigma_{мет} / T) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\sigma_{мет}$ – среднеквадратическое отклонение погрешности измерения ($\sigma_{мет} = lim/2$), мм; T – допуск контролируемого параметра, мм.

Коренные подшипники тракторных и комбайновых двигателей при микрометраже измеряют по внутреннему диаметру в двух сечениях и в трех плоскостях – перпендикулярно к плоскости разъема (S1) и под углом 45° от этого направления в обе стороны (S2 и S3) (рис. 2). Определяется средний размер, принимаемый как действительный.

Дефектация для данных отверстий проводилась так же, как и микрометраж. Это позволит исключить сборку блоков с бракованными коренными опорами, проворачивание вкладышей, полную переборку двигателя и значительные потери для ремонтного предприятия.

Результаты и их обсуждение. При проведении дефектации исследовались 100 коренных опор 20 блоков цилиндров двигателя ЯМЗ-238, подлежащих ремонту. В технической документации по ремонту данного двигателя для проведения контроля отверстий под вкладыши коренных подшипников рекомендован нутромер НИ 100-160 с ценой

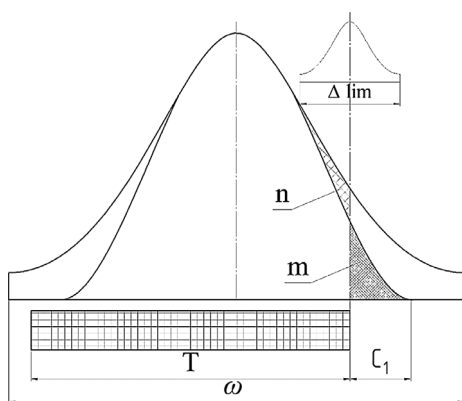


Рис. 1. Формирование брака при дефектации:

- m – процент неправильно принятых отверстий опор;
- n – процент неправильно забракованных отверстий опор;
- C₁ – вероятностная величина выхода диаметра за границу допуска у неправильно забракованных опор;
- T – допуск контролируемого параметра;
- Δlim – погрешность средств измерений;
- ω – зона рассеяния действительных размеров

Fig. 1. Fault detection through measurements:

- m – percentage of incorrectly accepted support holes;
- n – percentage of incorrectly rejected support holes;
- C₁ – probabilistic value of the output of the diameter beyond the tolerance limit for incorrectly rejected supports;
- T – the tolerance of the controlled parameter;
- Δlim – error of measuring instruments;
- ω – scattering zone of real dimensions

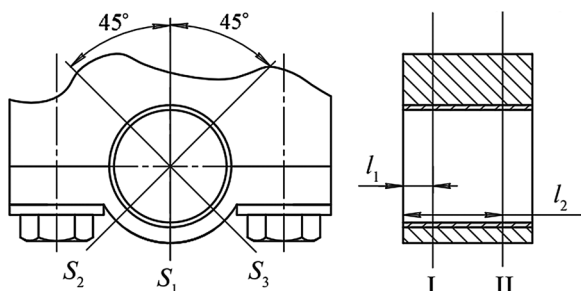


Рис. 2. Расположение сечений и плоскостей при микрометраже коренных подшипников дизельных двигателей

Fig. 2. Arrangement of sections and planes while taking micrometric measurements of main bearings of diesel engines

деления индикатора 0,01 мм. При настройке по концевым мерам первого класса погрешность прибора составляет Δlim = ±10 мкм, а при настройке по концевым мерам второго класса Δlim = ±12 мкм. Применение такого средства измерения является нецелесообразным, так как не выполняется принцип (2), согласно которому средство измерений должно быть точнее (в три раза и более), чем допуск контролируемого параметра.

В нашем случае допуск размера T = 21 мкм, следовательно, контролировать его можно только средствами измерений, имеющими погрешность Δlim ≤ 7 мкм.

Для анализа формирования рассеяния диаметров отверстий под вкладыши коренных подшипников в процессе контроля с целью сокращения количества неправильно принятых и неправильно забракованных опор были выбраны следующие средства измерений:

1. СИ 1 – нутромер индикаторный с ценой деления головки 0,001 мм при настройке по концевым мерам 1 класса, lim = ±6,5 мкм;

2. СИ 2 – нутромер с ценой деления головки 0,001 мм при настройке по установочным кольцам lim = ±3,5 мкм.

Для оценки рассеяния произведен контроль коренных опор блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-238, бывших в эксплуатации. В каждом блоке измерялось по 5 опор. Результаты обработки статистических данных контроля отражены в формах гистограммы, полигона и теоретической кривой рассеяния диаметров отверстий опор (рис. 3).

Анализ рассеяния показал, что неисправимый брак составил 8% (табл. 2). В целом из 20 блоков цилиндров будет забраковано 6, так как у четырех блоков выявлено по одной бракованной опоре из пяти, вышедшей за границы поля допуска, а у двух блоков – две такие опоры с элементами фреттинга на поверхности под вкладыши.

Определение параметров n, m и c, характеризующих уровень брака от наличия погрешности измерений, производилось по методике [9] (табл. 3).

При использовании нутромера с погрешностью Δlim = ±6,5 мкм количество неправильно забракованных опор на 4,2% больше, а количество неправильно принятых опор на 2% больше, чем при использовании нутромера с погрешностью Δlim₂ = ±3,5 мкм (табл. 2). При использовании

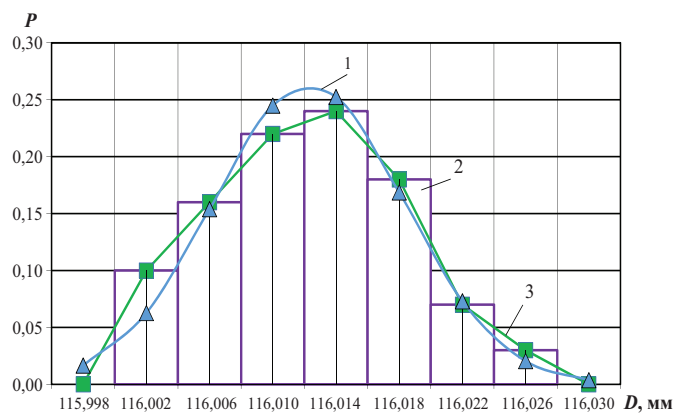


Рис. 3. Рассеяние изношенных размеров отверстий коренных опор двигателя ЯМЗ-238 D = 116^{+0,021} мм: 1 – теоретическая кривая; 2 – гистограмма; 3 – полигон

Fig. 3. Scattering of the hole sizes of the main bearings of the YaMZ-238 engine D = 116^{+0,021} mm: 1 – theoretical distribution curve; 2 – histogram; 3 – polygon

нутромера НИ-160, рекомендуемого к применению руководством по ремонту двигателя ЯМЗ-238, количество неправильно забракованных опор больше на 6,9%, а количество неправильно принятых опор больше на 3,5% по сравнению с нутромером с погрешностью $\Delta \text{lim}_2 = \pm 3,5$ мкм.

Следовательно, научно обоснована и практически доказана рациональность применения наиболее точного прибора, позволяющего снизить процент потерь в виде отправки в лом дорогостоящих блоков цилиндров, стоимость которых гораздо больше стоимости предлагаемого средства измерений.

Таблица 2

Распределение размеров коренных опор двигателя ЯМЗ при дефектации

Table 2

Distribution of the sizes of the main bearing supports of the YaMZ engine during fault detection

Параметр <i>Parameter</i>	Размер, мм <i>Size, mm</i>	Процент деталей, % <i>Percentage of parts, %</i>	Теоретическая вероятность <i>Theoretical probability</i>
Количество годных деталей / <i>Number of accepted parts</i>	116 ^{+0,021}	92	0,9927
Количество брака / <i>Number of faulty parts</i>	Свыше 116,021 / <i>Over 116.021</i>	8	0,0037

Таблица 3

Параметры при дефектации коренных опор двигателя ЯМЗ при использовании нутромера с различной погрешностью измерений

Table 3

Parameters for fault detection of the main bearing supports of the YaMZ engine when using a bore gauge with different measurement errors

Параметр <i>Parameter</i>	Средство измерений <i>Measuring instrument</i>		
	СИ1 <i>MI1</i>	СИ2 <i>MI2</i>	НИ 100-160 <i>CI 100-160</i>
Контролируемый размер, D, мм / <i>Controlled size</i>	116 ^{+0,021}		
Предельная погрешность СИ, Δlim , мкм / <i>Limit error of MI</i>	±6,5	±3,5	±10
СКО погрешности измерения, $\sigma_{\text{мет}}$, мкм / <i>Standard deviation of measurement error; $\sigma_{\text{мет}}$, mkm</i>	3,25	1,75	5
Коэффициент точности измерения, $A_{\text{мет}}$, % / <i>Measurement accuracy factor; $A_{\text{мет}}$, %</i>	15,5	8,3	23,8
Количество неправильно принятых опор, m, % / <i>Number of incorrectly received supports, m, %</i>	3,3	1,3	4,8
Количество неправильно забракованных опор, n, % / <i>Number of incorrectly accepted supports</i>	7,5	3,3	10,2
Величина выхода измеряемого параметра за границу допуска у неправильно забракованных опор, c, мкм <i>Extent to which the measured parameter exceeds the tolerance limit for incorrectly rejected bearing supports c, mkm</i>	2,94	1,47	5,04
Итого брака, % / <i>Total number of faulty parts, %</i>	10,8	4,6	15

Выводы

1. С целью обеспечения качества процесса дефектации отверстия коренных опор блоков цилиндров двигателя ЯМЗ 238 должны измеряться в двух плоскостях и двух сечениях, расположенных под 45° от плоскости разреза.

2. При выборе средств измерений для контроля диаметров отверстий коренных подшипников при дефектации рекомендовано использовать более точные приборы. Для коренных опор двигателей ЯМЗ наименьшая погрешность измерений $\Delta \text{lim} = \pm 3,5$ мкм будет у нутромера индикаторного с ценой деления измерительной головки 0,001 мм при настройке по установочным кольцам

Список использованных источников

- Игнатов В.И., Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Андреева Д.В. Состояние и перспективы развития ремонтно-обслуживающей базы АПК РФ // Вестник машиностроения. 2021. № 5. С. 84-88. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-5-84-88>
- Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В., Соломашкин А.А. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 33-36. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-9-33-36>
- Голубев И.Г., Фадеев А.Ю., Макуев В.А. Оценка качества технического сервиса тракторов // Техника и оборудование для села. 2010. № 7. С. 40-41. EDN MWGQBR.
- Дорохов А.С. Определение остаточного ресурса изделия по его размерам в поле допуска // Техника в сельском хозяйстве. 2011. № 3. С. 22-23. EDN VYGHJJ.
- Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. № 8. С. 34-37. EDN RSDRGX.

References

- Ignatov V.I., Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Andreeva D.V. State and development prospects of the repair and maintenance facilities of the agro-industrial sector of the Russian Federation. *Vestnik mashinostroeniya*. 2021; 5: 84-88. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-5-84-88> (In Rus.)
- Chernoivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., Solomashkin A.A. New strategy for the maintenance and repair of machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021; 9(291): 33-36. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-9-33-36> (In Rus.)
- Golubev I.G., Fadeev A.Yu., Makuev V.A. Quality assessment of the technical service of tractors. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2010; 7: 40-41. (In Rus.)
- Dorokhov A.S. Determination of the residual resource of the product by its dimensions in the tolerance field. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011; 3: 22-23. (In Rus.)
- Dorokhov A.S. Influence of dimensions in the tolerance field on the service life of products. *Gruzovik*. 2013; 8: 34-37. (In Rus.)

6. Скороходов Д.М., Краснящих К.А., Катаев Ю.В. и др. Контроль качества запасных частей редуктора конечной передачи МТЗ-82.1 // Сельский механизатор. 2020. № 7. С. 30-32. EDN FJAXIL.

7. Шкаруба Н.Ж. Влияние погрешностей измерения на результаты разбраковки при дефектации деталей машин // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 41-43. EDN VKWHQX.

8. Шкаруба Н.Ж., Левшанова Е.А. Место и роль метрологической службы в системе менеджмента измерений // Международный научный журнал. 2014. № 6. С. 56-61. EDN TDOUZD.

9. Шкаруба Н.Ж. Технико-экономические критерии выбора универсальных средств измерений при ремонте сельскохозяйственной техники: Монография. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2009. 118 с.

10. Шкаруба Н.Ж., Леонов О.А. Обоснование допустимой погрешности измерений при контроле отклонений формы и расположения поверхностей деталей // Вестник машиностроения. 2020. № 12. С. 42-45. <https://doi.org/10.36652/4633-0042-2020-12-42-45>

11. Шкаруба Н.Ж. Разработка комплексной методики выбора средств измерений линейных размеров при ремонте сельскохозяйственной техники: Дис. ... канд. техн. наук. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. 156 с.

12. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. и др. Обоснование замены индикаторных головок на цифровые при контроле ремонта машин // Сельский механизатор. 2022. № 4. С. 26-27. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2022-4-26-27>

13. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Антонова У.Ю. Метрологическое обеспечение контроля гильз цилиндров при ремонте дизелей // Вестник Барановичского государственного университета. Серия «Технические науки». 2018. № 6. С. 104-109. EDN: USTKZC.

Критерии авторства

Леонов О.А., Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Леонов Д.О., Зимогорский В.К. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Леонов О.А., Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Леонов Д.О., Зимогорский В.К. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 27.07.2022

Одобрена после рецензирования 21.09.2022

Принята к публикации 21.10.2022

6. Skorohodov D.M., Krasnyashchikh K.A., Kataev Yu.V. [et al.] Quality control of spare parts of the MTZ-82.1 final drive reduction gear. *Selskiy mekhanizator*. 2020; 7: 30-32. (In Rus.)

7. Shkaruba N.Zh. Influence of measurement errors on the sorting results during fault detection of machine parts. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016; 2: 41-43. (In Rus.)

8. Shkaruba N.Zh., Levshchanova E.A. Place and role of the metrological service in the measurement management system. *Mezhdunarodniy nauchniy zhurnal*. 2014; 6: 56-61. (In Rus.)

9. Shkaruba N.Zh. Technical and economic criteria for the selection of universal measuring instruments for the repair of agricultural machinery: monograph. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2009. 118 p. (In Rus.)

10. Shkaruba N.Zh., Leonov O.A. Justification of the permissible error of measurements when controlling shape deviations and the location of surfaces of parts. *Vestnik mashinostroeniya*. 2020; 12: 42-45. <https://doi.org/10.36652/4633-0042-2020-12-42-45> (In Rus.)

11. Shkaruba N.Zh. Development of an integrated methodology for the selection of measuring instruments for linear dimensions in the repair of agricultural machinery: PhD (Eng) thesis. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2006. 156 p. (In Rus.)

12. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. [et al.] Rationale for replacing indicator heads with digital ones when monitoring machine repairs. *Selskiy mekhanizator*. 2022; 4: 26-27. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2022-4-26-27> (In Rus.)

13. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Antonova U.Yu. Metrological provisions for the control of cylinder liners during the repair of diesel engines. *Vestnik Baranovichskogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Tekhnicheskie nauki*. 2018; 6: 104-109. (In Rus.)

Contribution

O.A. Leonov, P.V. Golinitkiy, U.Yu. Antonova, D.O. Leonov and V.K. Zimogorsky performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. O.A. Leonov, P.V. Golinitkiy, U.Yu. Antonova, D.O. Leonov and V.K. Zimogorsky 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 27.07.2022

Approved after reviewing 21.09.2022

Accepted for publication 21.10.2022