

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.431

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-3-51-55

ОСОБЕННОСТИ МИКРОМЕТРАЖА ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ

ЛАЗАРЬ ВЕРА ВЛАДИМИРОВНА, старший преподаватель

vera_lazar69@mail.ru

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет); 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4

Аннотация. Гильза цилиндров является важнейшей деталью, лимитирующей ресурс двигателя. Перед дефектацией гильз цилиндров необходимо провести микрометраж ее поверхности с целью выявления мест наибольшего и наименьшего износа. С целью проведения микрометража и апробации его на новых и изношенных гильзах цилиндров проведены исследования 40 гильз цилиндров двигателей ЯМЗ. Рабочая поверхность гильзы цилиндров контролировалась по внутреннему диаметру, который измерялся в 8 сечениях и 2 плоскостях. Микрометраж проводился с помощью нутромера индикаторного с цифровой головкой повышенной точности с ценой деления 0,001 мм; 10 новых гильз цилиндров соответствовали требованиям технической документации. Микрометраж 30 гильз цилиндров показал, что наибольший износ составляет 253 мкм в плоскости качания шатуна, и 189 мкм – в перпендикулярной ей плоскости. Выявлено, что микрометраж гильз следует особенно тщательно проводить в верхней части гильз цилиндров. Наибольший износ проявляется в месте остановки верхнего поршневого кольца в начале такта расширения, причем износ больше в плоскости качания шатуна ввиду действия нормальной силы. Самая верхняя часть гильз цилиндров – это не поддаваемый механическому износу пояс, по диаметру которого можно судить о первоначальных размерах отверстия гильзы, но и здесь необходимо измерение размера ввиду влияния высоких температур, некоторого изменения кристаллической решетки материала, окисления и присутствия продуктов сгорания в виде нагара. Нижняя часть гильзы цилиндра подвержена износу по причине трения юбки поршня о ее поверхность. Но вследствие меньшей температуры, лучшей смазки, значительно большей площади контакта и соответственно меньшего давления повышенный износ здесь может наблюдаться только при перекосах в работе кривошипно-шатунного механизма: смещения оси коленчатого вала или изгиба шатуна.

Ключевые слова: гильза цилиндров, микрометраж, дефектация, износ, ремонтный размер, геометрические размеры.

Формат цитирования: Лазарь В.В. Особенности микрометража гильз цилиндров двигателей ЯМЗ // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 51-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-51-55>.

© Лазарь В.В., 2022



ORIGINAL PAPER

MICROMETRY OF CYLINDER LINERS OF YAMZ ENGINES

VERA V. LAZAR, senior lecturer

vera_lazar69@mail.ru

Moscow Aviation Institute (National Research University); 4 Volokolamskoe Ave., 125993, Moscow, Russian Federation

Abstract. The most important part that limits the engine life is the cylinder liner. Before fault finding in the cylinder liners, it is necessary to carry out the micrometry of their surface to identify the areas of greatest and least wear. For carrying out the micrometry and testing it on new and worn cylinder liners, 40 cylinder liners of YaMZ engines were used. The working surface of the cylinder liners was controlled by the inner diameter, which was measured in eight sections and two planes. The micrometry was carried out with an indicating hole gauge with a digital head of increased accuracy with a sensitivity of 0.001 mm; ten new cylinder liners met the technical requirements. The micrometry of thirty cylinder liners showed that the greatest wear was 253 μm in the connecting rod oscillation plane and 189 μm in the perpendicular plane. It was found that liner micrometry should be particularly thoroughly carried out at the top of the cylinder liners. The greatest wear occurs at the top piston ring stop at the start of the expansion stroke, with more intensive wear in the connecting rod oscillation plane due to the normal force. The uppermost part of the cylinder liners is the wear-free liner flange, the diameter of which indicates the original dimensions of the liner bore. However, it must also be measured due to the effects of high temperatures, changes in the crystal pattern of the material, oxidation and the presence of combustion products in the form of carbon deposits. The lower part of the cylinder liner is subject to wear due to the friction of the piston skirt against its surface. However, due to the lower temperature, the better lubrication, the much larger contact surface and the correspondingly lower pressure, increased wear here can only occur if there are misalignments in the crank mechanism: the misaligned crankshaft axle or the bent connecting rod.

Key words: cylinder liner, micrometer, defect, wear, repair size, geometric dimensions.

For citation: Lazar V.V. Micrometry of cylinder liners of YaMZ engines. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(3): 51-55. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-51-55>.

Введение. Вопросам контроля качества в ремонтном производстве уделяется много внимания. Формируются современные требования к качеству процессов с позиции удовлетворенности потребителя [1]. Грамотное применение методов и средств измерений, испытаний и контроля на ремонтных предприятиях необходимо для обеспечения заданного качества машин и долговечности их эксплуатации [2, 3]. Качество изделий машиностроения зависит от достоверности измерительной информации, которую гарантирует система метрологического обеспечения производства¹ [4].

Вопросы обеспечения долговечности ответственных соединений с определенными зазорами [5], с гарантированными натягами [6, 7], в том числе параметров точности в уплотнениях [8, 9], становятся все более актуальными. С целью повышения точности сборки соединений применяются методы неполной взаимозаменяемости [10, 11] и подбор деталей по массе [12]. Повышение точности изготовления, сборки и ремонта соединений приводит к необходимости рационального выбора средств и методов их контроля [13, 14].

Достаточно остро стоит вопрос о применении в качестве запасных частей неоригинальных деталей сторонних поставщиков при ремонте машин и о методах оценки их соответствия [15, 16].

Все вышеописанные мероприятия влияют на качество продукции и приводят к снижению внешних потерь [17, 18], что положительно сказывается на рентабельности и имидже ремонтных предприятий.

При поставке новой техники и новых деталей на производство проводится микрометраж, на основании данных которого формируют контрольные карты для дефектации деталей при поступлении их в ремонт.

Основными задачами дефектации деталей являются:

– контроль деталей с целью определения их технического состояния;

– дальнейшая сортировка на группы: годные (подлежащие дальнейшей эксплуатации); детали, подлежащие ремонту (восстановлению); негодные детали (сортировка деталей по маршрутам восстановления);

– накопление информации о результатах дефектации для дальнейшего совершенствования технологических процессов.

Дефектацию необходимо проводить в соответствии с нормативно-техническими документами и грамотно интерпретировать данные измерений, сопоставляя их с предельными значениями. Отступление от данных условий способствует повышению стоимости ремонта и снижению качества.

Важнейшей деталью, лимитирующей ресурс двигателя, является гильза цилиндра. От состояния рабочей поверхности гильз цилиндров зависит работоспособность двигателя. Со временем, в процессе работы двигателя, происходит износ цилиндров. Это влечет за собой понижение мощности, увеличение расхода топлива, смазки и масла, затруднение при запуске двигателя и т.д. Износ поверхности гильз цилиндра определяется увеличением диаметра, изменением геометрических размеров (повышением овальности и конусообразности).

При наличии износа более 0,35...0,50 мм соединение гильзы с поршнем приходит к предельному состоянию, и двигатель направляется в ремонт для шлифовки гильз под ремонтный размер или замены на новую.

Перед дефектацией гильз цилиндров необходимо провести микрометраж ее поверхности с целью выявления мест наибольшего и наименьшего износа.

Цель исследования: проведение микрометража новых и изношенных гильз цилиндров двигателей ЯМЗ с целью выявления мест наибольшего и наименьшего износа.

Материалы и методы. Исследовались партии гильз цилиндров 5 двигателей ЯМЗ-238 (табл. 1), в каждой партии по 8 шт. (всего 40 гильз).

Таблица 1

Основные технические характеристики гильзы цилиндров двигателя ЯМЗ

Table 1

Main technical characteristics of the cylinder liners of the YaMZ engine

Параметр <i>Parameter</i>	Обозначение <i>Designation</i>	Номинальное значение <i>Rated value</i>
Высота гильзы, мм / <i>Liner height, mm</i>	<i>L</i>	270 _{-0,68}
Высота от верхнего торца гильзы до упорного бурта, мм <i>Height from the top end of the liner to the stop shoulder, mm</i>	<i>h</i>	12,1 ^{+0,03}
Диаметр верхнего центрирующего пояска, мм / <i>Upper centering collar diameter, mm</i>	<i>D₁</i>	Ø 160 _{-0,08}
Диаметр нижнего центрирующего пояска, мм / <i>Lower centering collar diameter, mm</i>	<i>D₂</i>	Ø 153 _{-0,04} _{-0,10}
Диаметр посадочного пояска, мм / <i>Seat face diameter, mm</i>	<i>D₃</i>	Ø 151 _{-0,04} _{-0,10}
Внутренний диаметр гильзы, мм / <i>Inner diameter of the liner, mm</i>	<i>d</i>	130,0 ^{+0,025} _{+0,005}
Твердость рабочей поверхности / <i>Work surface hardness</i>	<i>HRC</i>	42...50
Шероховатость зеркала цилиндра, мкм / <i>Cylinder face roughness, μm</i>	<i>Ra</i>	6,3
Масса гильзы цилиндра, кг / <i>Cylinder liner weight, kg</i>	-	7,8

¹ Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. и др. Проектирование и анализ качества контрольных процессов на ремонтных предприятиях: Монография. М.: ОнтоПринт, 2020. 95 с.

Микрометраж гильз цилиндров проводился с использованием нутромера индикаторного с цифровой головкой повышенной точности с ценой деления 0,001 мм. Для настройки прибора с целью измерения износа предварительный натяг составил 0,3 мм, а для контроля качества новых гильз цилиндров – 0,1 мм, что обеспечит меньшую погрешность измерений.

Результаты и их обсуждение. Особенность микрометража гильз цилиндров заключается в измерении внутреннего диаметра рабочей поверхности гильзы цилиндра в 8 сечениях (1-1...8-8) и 2 плоскостях (А-А, В-В) (рис. 1). Индикаторный нутромер настраивался по установочному

кольцу 130,000 мм, и проводились измерения отклонений диаметра гильз в указанных плоскостях и сечениях (действительные отклонения). Усредненные результаты представлены в таблице 2.

Измерение размеров рабочей поверхности гильзы цилиндров производится после поступления двигателя в ремонт и выпрессовки гильз. Диаметр гильзы во время эксплуатации увеличивается, появляются погрешности в геометрической форме рабочих поверхностей детали в виде овальности и конусности.

Результаты микрометража 30 изношенных гильз цилиндров приведены в таблице 3.

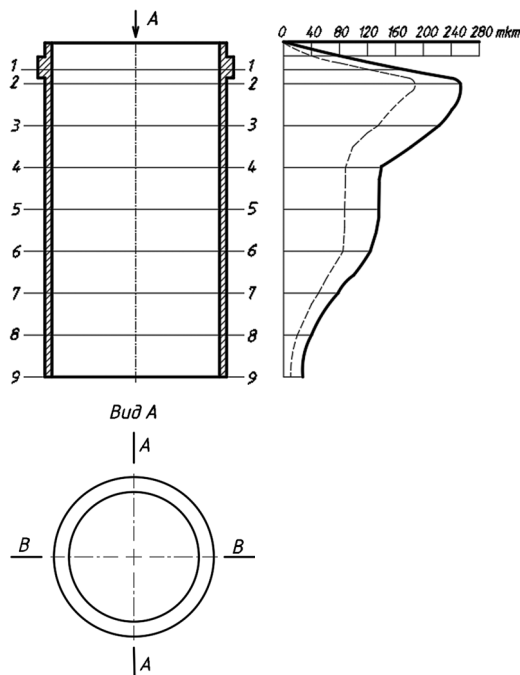


Рис. 1. Схема контроля внутреннего диаметра гильзы цилиндров и диаграмма износа внутренней поверхности:

- плоскость качания шатуна (А-А);
- плоскость, перпендикулярная качанию шатуна (В-В);
- А-А, В-В – плоскости замеров;
- 2-2 – сечение, определяемое положением верхнего кольца при положении поршня в ВМТ;
- 8-8 – сечение, определяемое положением нижнего кольца при положении поршня в НМТ

Fig. 1. Control diagram of the inner diameter of the cylinder liner and the wear diagram of the inner surface:

- connecting rod oscillation plane (А-А);
- a plane perpendicular to the oscillation of the connecting rod (В-В);
- А-А, В-В – measurement planes;
- 2-2 – section determined by the position of the upper ring when the piston is at TDC;
- 8-8 – section determined by the position of the lower ring when the piston is at BDC

Таблица 2

Результаты микрометража партии новых гильз цилиндров двигателей ЯМЗ

Table 2

Micrometry results of a batch of new cylinderliners of YaMZ engines

Измеряемые плоскости <i>Measured planes</i>	Отклонения от размера 130,0 мм, в сечениях, мкм <i>Deviations from the size of 130.0 mm, in sections, microns</i>								Конусообразность Δ, мкм <i>Taper Δ, μm</i>
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	
А-А	+10	+9	+9	+11	+10	+9	+12	+11	1,5
В-В	+15	+11	+13	+14	+14	+10	+15	+13	2,5
Овальность, мкм / <i>Ovality, microns</i>	2,5	1	2	1,5	2	0,5	1,5	1	-

Таблица 3

Результаты микрометража партии гильз цилиндров после длительной эксплуатации

Table 3

Results of micrometreage of a batch of cylinder liners after long-term operation

Измеряемые плоскости <i>Measured planes</i>	Отклонения от размера 130,0 мм, в сечениях, мкм <i>Deviations from the size of 130.0 mm, in sections, microns</i>								Конусообразность Δ, мкм <i>Taper Δ, μm</i>
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	
А-А	+165	+253	+225	+142	+135	+122	+79	+39	107
В-В	+120	+189	+133	+92	+89	+83	+49	+20	84,5
Овальность, мкм / <i>Ovality, microns</i>	22,5	32	46	25	23	19,5	15	9,5	-

Экспериментально установлено, что наибольший износ составляет 253 мкм в плоскости качания шатуна и 189 мкм – в перпендикулярной ей плоскости.

На диаграмме (рис. 1) наблюдается неравномерность износа внутренней поверхности гильз цилиндров.

Наибольший износ проявляется в месте остановки верхнего поршневого кольца в начале такта расширения, причем износ больше в плоскости качания шатуна ввиду действия нормальной силы. Поэтому перед выемкой гильзы цилиндров из блока необходимо пометить эту плоскость. Самая верхняя часть гильзы – это не подвергаемый механическому износу пояс. По его диаметру можно судить о первоначальном размере отверстия гильзы, хотя и здесь необходимо измерение размера по причине влияния высоких температур, некоторого изменения кристаллической решетки материала, окисления и вероятности присутствия продуктов сгорания в виде нагара.

Нижняя часть гильзы цилиндра подвержена износу ввиду трения юбки поршня о ее поверхность. Но вследствие меньшей температуры, лучшей смазки и значительно большей площади контакта, соответственно меньшего давления повышенный износ здесь может наблюдаться только при перекосах в работе кривошипно-шатунного механизма: смещения оси коленчатого вала или изгиба шатуна.

Овальность рассчитывается по результатам измерения диаметров в плоскостях А-А и В-В по формуле:

$$EFK_i = \frac{D_{i_{B-B}} - D_{i_{A-A}}}{2}, \quad (1)$$

где i – сечение гильзы цилиндра.

За действительное значение принимается максимальное значение овальности, выбираемое из расчетов $EFK = EFK_{\max}$.

Библиографический список

1. Ерохин М.Н. Научные основы организации системы менеджмента качества на предприятиях ТС в АПК: Монография / М.Н. Ерохин, О.А. Леонов, В.В. Карпузов, Н.Ж. Шкаруба, Г.Н. Темасова, Ю.Г. Вергазова, А.Н. Самордин. Ставрополь, 2020. 176 с.
2. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Y. Quality control in the machining of cylinder liners at repair enterprises. *Russian Engineering Research*, 2020; 40 (9): 726-731. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20090105>
3. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Лазарь В.В. Оценка технико-экономического уровня технологического оборудования для обработки гильз цилиндров // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 68-74. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-68-74>
4. Leonov O.A, Shkaruba N.Zh. Development of the management system for metrological assurance of measurements. *Journal of Physics: Conference Series. 2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020 Krasnoyarsk, 2020; 1515 (3): 032010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032010>
5. Leonov O.A, Shkaruba N.Zh. A parametric failure model for the calculation of the fit tolerance of joints with clearance. *Journal of Friction and Wear*, 2019; 40 (4): 332-336. <https://doi.org/10.3103/S1068366619040068>

Конусообразность в плоскостях А-А и В-В определяется по формуле:

$$EFP_i = \frac{D_{i_{\max}} - D_{i_{\min}}}{2}. \quad (2)$$

Действительная конусообразность является максимальным значением $EFP = EFP_{\max}$.

Полученные значения овальности и конусообразности для новых гильз не должны превышать предельные значения, указанные в технической документации. Для изношенных гильз (в нашем случае $EFK_{\max} = 46$ мкм в сечении 2-2, а $EFP_{\max} = 107$ мкм в плоскости А-А) это говорит о том, что естественный износ гильз цилиндров проявляется в виде выработки в области движения поршневых колец. При этом цилиндрическая форма отверстия искажается и принимает вид овала с большим износом в плоскости качания шатуна. Выработка получается несимметричной (относительно продольной оси двигателя) ввиду действия нормальной силы. При этом значения овальности по факту определяют величину зазора, через который идет прорыв газов в картер.

Выводы

1. Проведенный микрометраж гильз цилиндров двигателей ЯМЗ показал, что наибольший износ (253 мкм) наблюдается в плоскости качания шатуна, 189 мкм – в перпендикулярной ей плоскости. Овальность изношенных гильз составила 46 мкм, конусообразность – 107 мкм.
2. Наибольший износ характерен для верхней части гильз, в области расположения поршневых колец, что обусловлено сильным истирающим действием поршневых колец.
3. Нижняя часть гильзы цилиндра подвержена износу по причине трения юбки поршня о ее поверхность. Повышенный износ здесь может наблюдаться только при перекосах в работе кривошипно-шатунного механизма – смещения оси коленчатого вала или изгиба шатуна.

References

1. Erokhin M.N., Leonov O.A., Karpuzov V.V., Shkaruba N.Zh., Temasova G.N., Vergazova Yu.G., Samordin A.N. Nauchnye osnovy organizatsii sistemy menedzhmenta kachestva na predpriyatiyakh TS v APK: Monografiya [Scientific foundations of organizing the quality management system at the technical service enterprises in the agro-industrial sector: Monograph]. Stavropol, 2020. 176 p. (In Rus.)
2. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Y. Quality control in the machining of cylinder liners at repair enterprises. *Russian Engineering Research*, 2020; 40(9): 726-731. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20090105>
3. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Lazar V.V. Otsenka tekhniko-ekonomicheskogo urovnya tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya obrabotki gil'z tsilindrov [Evaluation of the technical and economic level of technological equipment for processing cylinder liners]. *Agricultural Engineering*, 2021; 2 (102): 68-74. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-68-74> (In Rus.)
4. Leonov O.A, Shkaruba N.Zh. Development of the management system for metrological assurance of measurements. *Journal of Physics: Conference Series. 2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020 Krasnoyarsk, 2020; 1515(3): 032010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032010>
5. Leonov O.A, Shkaruba N.Zh. A parametric failure model for the calculation of the fit tolerance of joints with clearance. *Journal of Friction and Wear*, 2019; 40(4): 332-336. <https://doi.org/10.3103/S1068366619040068>
6. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Calculation of Fit Tolerance by the Parametric Joint Failure Model. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2020; 49(12): 1027-1032.

6. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Calculation of Fit Tolerance by the Parametric Joint Failure Model. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2020; 49 (12): 1027-1032.

7. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Determining the tolerances in fitting for joints with interference. *Russian Engineering Research*, 2019; 39 (7): 544-547.

8. 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.

9. 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>

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.

11. Golinitzkiy P.V., Antonova U.Y. Assessment of the influence of measurement error on the quality of selective assembly. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020, 1515; 5: 052021.

12. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Голеницкий П.В., Антонова У.Ю. Нормирование допускаемой погрешности измерения массы при контроле деталей шапунно-поршневой группы // Вестник машиностроения. 2021. № 9. С. 40-44.

13. Leonov O.A., Temasova G.N., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V. Method for calculating savings from using a more accurate measuring instruments. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020, 1515; 3: 032022.

14. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Theoretical basis of selection of measurement measures in control of linear sizes. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020; 1679 (5): 052081.

15. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Голеницкий П.В., Антонова У.Ю. Методы и средства контроля качества обработки гильз цилиндров на ремонтных машиностроительных предприятиях // Вестник машиностроения. 2020. № 6. С. 40-45.

16. Дорохов А.С., Семейкин В.А., Краснящих К.А. Входной контроль качества запасных частей бесконтактной измерительной установкой // Техника и оборудование для села. 2011. № 9. С. 24-26.

17. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Темасова Г.Н., Вергазова Ю.Г. Оценка внешних потерь на предприятиях технического сервиса в АПК // Сельский механизатор. 2020. № 9. С. 34-35.

18. Бондарева Г.И., Темасова Г.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Оценка внешнего брака на предприятиях машиностроения // Вестник машиностроения. 2021. № 11. С. 93-96.

Критерии авторства

Лазарь В.В. выполнила теоретические исследования, на основании полученных результатов провела эксперимент и подготовила рукопись. Лазарь В.В. имеет на статью авторские права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.01.2022

Одобрена после рецензирования 28.04.2022

Принята к публикации 29.04.2022

7. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Determining the tolerances in fitting for joints with interference. *Russian Engineering Research*, 2019; 39(7): 544-547.

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

9. 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.)

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

11. Golinitzkiy P.V., Antonova U.Y. Assessment of the influence of measurement error on the quality of selective assembly. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020, 1515; 5: 052021.

12. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Y. Normirovanie dopuskayemoy pogreshnosti izmereniya massy pri kontrole detaley shatunno-porshnevoy gruppy [Rationing the permissible error while measuring mass during the control of parts of the connecting rod and piston group]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2021; 9: 40-44. (In Rus.)

13. Leonov O.A., Temasova G.N., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V. Method for calculating savings from using a more accurate measuring instrument. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020, 1515; 3:032022.

14. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Theoretical basis of selection of measurement measures in control of linear sizes. *2nd International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies*, 2020; 1679(5): 052081.

15. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Yu. Metody i sredstva kontrolya kachestva obrabotki liner cilind na remontnykh mashinostroitel'nykh predpriyatiyakh [Methods and means of monitoring the processing quality of cylinder liners at repair machine-building enterprises]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020; 6: 40-45. (In Rus.)

16. Dorokhov A.S., Semeykin V.A., Krasnyashchikh K.A. Vkhodnoy kontrol' kachestva zapasnykh chastey beskontaktnoy izmeritel'noy ustanovkoy [Input quality control of spare parts with a non-contact measuring device]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2011; 9: 24-26. (In Rus.)

17. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Temasova G.N., Vergazova Yu.G. Otsenka vneshnikh poter' na predpriyatiyakh tekhnicheskogo servisa v APK [Evaluation of external losses at agro-industrial enterprises of technical service]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2020; 9: 34-35. (In Rus.)

18. Bondareva G.I., Temasova G.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Otsenka vneshnego braka na predpriyatiyakh mashinostroeniya [Evaluation of external defects at mechanical engineering enterprises]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2021; 11: 93-96. (In Rus.)

Contribution

V.V. Lazar performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.V. Lazar has author's rights and bears responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 20.01.2022

Approved after reviewing 28.04.2022

Accepted for publication 29.04.2022