

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.815

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-39-46>**Качество обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер: статистический анализ****О.А. Леонов<sup>1</sup>, Н.Ж. Шкаруба<sup>2</sup>, Г.Н. Темасова<sup>3</sup>, Д.А. Пупкова<sup>4</sup>, Л.А. Гринченко<sup>5</sup>, И.Н. Кравченко<sup>6</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052><sup>2</sup> shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442><sup>3</sup> temasova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758><sup>4</sup> bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796><sup>5</sup> grinchenko@rgau-msha.ru<sup>6</sup> kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

**Аннотация.** Механическая обработка ответственных деталей влияет на качество ремонта двигателей. Исследования проведены с целью оценки качества настройки станка для обработки коренных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ под ремонтный размер. Исследовались диаметры 20 коренных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер. Контроль размеров диаметров осуществлялся скобой рычажной СР-75. Качество обработки шеек коленчатого вала оценивалось последовательно с помощью инструментов качества: диаграммы «Ящик с усами», контрольных карт Шухарта и гистограммы. По диаграмме «Ящик с усами» установлено, что после обработки под ремонтный размер все шейки имеют диаметр в границах поля допуска на обработку, но при этом существует разброс между диаметрами шеек в пределах одного коленчатого вала. В результате анализа контрольных карт Шухарта установлено, что разброс значений размахов внутри одной подгруппы (коленчатого вала) и разброс значений между подгруппами вызваны обычными причинами, и такой характер разброса можно считать случайным. Следовательно, технологический процесс можно считать стабильным и управляемым. С помощью гистограммы установлены вероятность появления исправимого брака после обработки коренной шейки двигателя под ремонтный размер, равная 1,95%, и вероятность появления неисправимого брака, равная 0. Рассчитанный индекс воспроизводимости 0,93 свидетельствует о существенном износе оборудования. Со временем индекс будет уменьшаться и риски возникновения брака будут возрастать. Сделан вывод о приемлемом качестве настройки станка для обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер. Рекомендуется регулярно проверять качество обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер, последовательно применяя все три инструмента для выявления разброса размеров и несоответствий, что особенно актуально для изношенного оборудования.

**Ключевые слова:** ремонт двигателей, качество обработки, качество обработки коренных шеек коленчатого вала, настройки станка, диаграмма «Ящик с усами», контрольные карты Шухарта, гистограмма, индекс воспроизводимости, брак

**Для цитирования:** Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Темасова Г.Н., Пупкова Д.А., Гринченко Л.А., Кравченко И.Н. Качество обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер: статистический анализ // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 5. С. 39-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-39-46>

## ORIGINAL ARTICLE

**Assessment of the quality of the crankshaft grinding process for repair size****O.A. Leonov<sup>1</sup>, N.Zh. Shkaruba<sup>2</sup>, G.N. Temasova<sup>3</sup>, D.A. Pupkova<sup>4</sup>, L.A. Grinchenko<sup>5</sup>, I.N. Kravchenko<sup>6</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052><sup>2</sup> shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442><sup>3</sup> temasova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758><sup>4</sup> bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796><sup>5</sup> grinchenko@rgau-msha.ru<sup>6</sup> kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

**Abstract.** Mechanical processing of critical parts affects the quality of engine repair. The authors carried out research to assess the quality of setting for machining the crankshaft main journals of the ZMZ engine for the repair size.

They studied the diameters of 20 crankshaft main journals of the ZMZ engine after machining for the repair size. The diameters were controlled by a lever clamp SR-75. The following tools were sequentially used to evaluate the quality of machining main bearing journals: a “box-and-whisker” diagram, Shewhart control charts, and a histogram. According to the “Box and Whiskers” diagram it was found that after machining for the repair size all the journals have a diameter within the machining tolerance field, but at the same time there is a scatter between the diameters of the journals of the same crankshaft. After analyzing the Shewhart control charts, it was found that the scatter values within one subgroup (crankshaft) and between the subgroups were caused by the usual reasons, and this scatter pattern can be considered random. Consequently, the technological process can be considered stable and controllable. The histogram helped to determine the probability of correctable rejects after machining of the engine journal for the repair size, equal to 1.95%, and the probability of irreparable rejects, equal to 0. The calculated reproducibility index of 0.93 indicates a significant wear of the equipment. Over time, the index will decrease and the risks of rejects will increase. The authors conclude that the quality of setting for machining crankshaft main bearing journals for the repair size is acceptable. It is desirable to regularly check the quality of machining crankshaft main journals for the repair size, consistently applying all the three tools to identify the size variation and inconsistencies, which is especially relevant for worn equipment.

**Keywords:** engine repair, machining quality, machining quality of crankshaft main bearing journals, machine settings, box-and-whisker diagram, Shewhart control charts, histogram, reproducibility index, rejects

**For citation:** Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Temasova G.N., Pupkova D.A., Grinchenko L.A., Kravchenko I.N. Assessment of the quality of the crankshaft grinding process for repair size. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(5):39-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-39-46>

## Введение

Поддержание техники в работоспособном состоянии является актуальной задачей на современном этапе развития АПК [1-4]. Для проведения сельскохозяйственных работ и перевозки грузов в хозяйстве используется техника с двигателями внутреннего сгорания. Ввиду сложности конструкции и нагруженности ряда ответственных соединений наиболее частым является отказ двигателей.

Ремонт двигателей внутреннего сгорания заключается в его разборке и мойке, дефектовке основных деталей, обработке под ремонтный размер коленчатых и распределительных валов, а также гильз цилиндров, в комплектации и сборке.

Операции механической обработки ответственных деталей являются главными слагаемыми качества ремонта. Для анализа качества обработки можно использовать контрольные карты Шухарта и гистограммы.

**Цель исследований:** оценить качество настройки станка для обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер.

**Объект исследований:** технологический процесс обработки коренных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ под ремонтный размер.

**Предмет исследований:** диаметры коренных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер.

## Материалы и методы

Основным способом восстановления работоспособности изношенных коленчатых валов двигателей является обработка шеек под ремонтный размер методом чистового шлифования [5-8]. Однако

технологические возможности ремонтных предприятий не позволяют обеспечить качество поверхности на уровне заводов-изготовителей. В результате ресурс кривошипно-шатунных узлов отремонтированных двигателей снижается [9]. Важнейшую роль в повышении ресурса играет контроль качества настройки оборудования для обработки под ремонтный размер.

Для проведения статистического анализа качества настройки станка для обработки под ремонтный размер были проконтролированы диаметры коренных шеек 20 коленчатых валов двигателя ЗМЗ. Ремонтный размер коренных шеек  $-61,75_{-0,054}^{+0,035}$ . Для контроля размеров диаметров использовали скобу рычажную SR-75 (точность отсчета – 0,001 мм, погрешность измерений составила  $\pm 0,001$  мм). Для проведения статистического анализа последовательно применяли три инструмента контроля качества технологического процесса: диаграмму «Ящик с усами», контрольные карты Шухарта и гистограмму. Для обработки экспериментальных данных использовались методы теории вероятностей и математической статистики<sup>1,2</sup> [10, 11].

## Результаты и их обсуждение

Для анализа разброса диаметров коренных шеек после обработки под ремонтный размер для каждого коленчатого вала были построены диаграммы «Ящик

<sup>1</sup>Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алексеева В.А. Статистические методы анализа данных: Учебное пособие. М.: Финансы и Статистика, 2021. 240 с.

<sup>2</sup>ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021. Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса. Введ. 01.01.2022. М.: Изд-во Стандартиформ, 2021. 40 с.

с усами» (рис. 1). Диаграмма «Ящик с усами» является универсальной и наилучшим образом подходит для предварительного визуального анализа полученных данных [12]. На представленной диаграмме каждый «ящик» объединяет в себе разброс диаметров коренных шеек после обработки под ремонтный размер на одном коленчатом валу. В качестве границ «ящика» выступают первый и третий квартили (25-й и 75-й процентиля соответственно), линия в середине ящика – медиана (50-й процентиль), крестиком обозначены средние арифметические значения. Пунктирными линиями на диаграмме обозначены верхняя и нижняя граница поля допуска на обработку коренной шейки коленчатого вала под ремонтный размер.

Анализируя диаграмму (рис. 1), можно сделать следующие выводы:

- среди контролируемых диаметров отсутствуют выбросы, все контролируемые размеры находятся в пределах между 25-й и 75-й процентилями соответственно;

- у 1, 3 и 7 коленчатых валов одна из шеек имеет размер после обработки больше на 1 мкм (верхний «ус ящика») установленного верхнего предела (пунктирная линия);

- разница между медианой и средними арифметическими значениями указывает на присутствие нескольких размеров с экстремальными значениями, которые увеличивают среднее арифметическое значение.

Для нашего случая более важной характеристикой является медиана, так как для оценки качества обработки коленчатого вала важным являются единичные значения (диаметр каждой шейки), а не их среднее арифметическое.

Из диаграммы (рис. 1) следует, что размах диаметров коренных шеек (высота «ящика») имеет разброс как внутри одного коленчатого вала, так и между валами. Чтобы установить, вызван этот разброс особыми

причинами или является следствием влияния обычных причин, применим контрольные карты Шухарта [13].

Исходные данные для построения контрольных карт средних арифметических значений и скользящих размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер представлены в таблице 1.

С использованием данных таблицы 1 построены контрольные карты средних арифметических значений и скользящих размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер (рис. 2).

Исходные данные для построения контрольных карт средних арифметических значений и размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер представлены в таблице 2.

Используя данные таблицы 2, построили контрольные карты средних арифметических значений и размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер (рис. 2).

Проверка контрольных карт (рис. 2, 3) показала, что разброс значений размахов внутри одной подгруппы (коленчатого вала) и разброс значений между подгруппами вызваны обычными причинами, то есть можно такой характер разброса считать случайным. Таким образом, технологический процесс можно считать стабильным и предсказуемым.

Для оценки статистических характеристик исследуемого процесса построим гистограмму распределения, оценим закон распределения и вероятность появления бракованных коренных шеек после обработки под ремонтный размер. Исходные данные для построения гистограммы и эмпирической и теоретической кривой распределения диаметров коренных шеек коленчатых валов, обработанных под ремонтный размер, представлены в таблице 3.

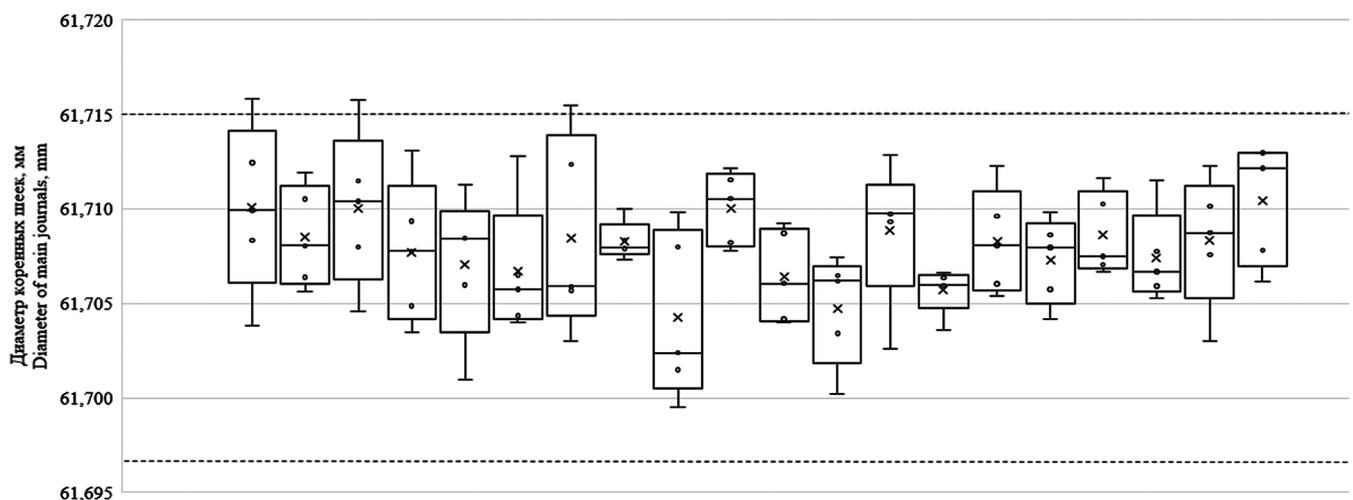


Рис. 1. Диаграмма «Ящик с усами» диаметров коренных шеек после обработки под ремонтный размер

Fig. 1. The “box-and-whisker” diagram of the diameters of the main bearing journals after processing for the repair size

Таблица 1

Исходные данные для построения контрольных карт средних арифметических значений и скользящих размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер

Table 1

Initial data for the construction of control maps of arithmetic averages and moving ranges of the diameters of the ZMZ engine main bearing journals after processing for the repair size

Параметр контрольной карты / Parameter of the control card	Значение, мм / Value, mm
Центральная граница $\bar{X}$ -карты / Central boundary of the $\bar{X}$ -card	61,708
Верхняя контрольная граница $\bar{X}$ -карты / Upper control boundary of the $\bar{X}$ -card	61,7147
Нижняя контрольная граница $\bar{X}$ -карты / Lower control boundary of the $\bar{X}$ -card	61,701
Центральная граница R-карты / Central boundary of the R-card	0,002
Верхняя контрольная граница R-карты / Upper control boundary of the R-card	0,0069
Нижняя контрольная граница R-карты / Lower control boundary of the R-card	0

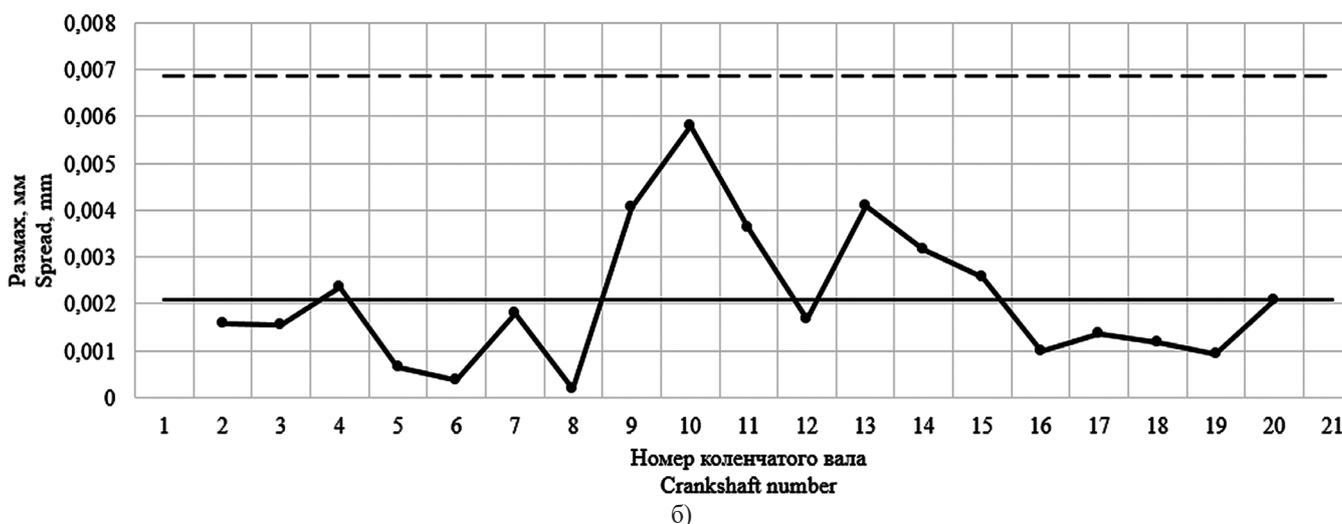
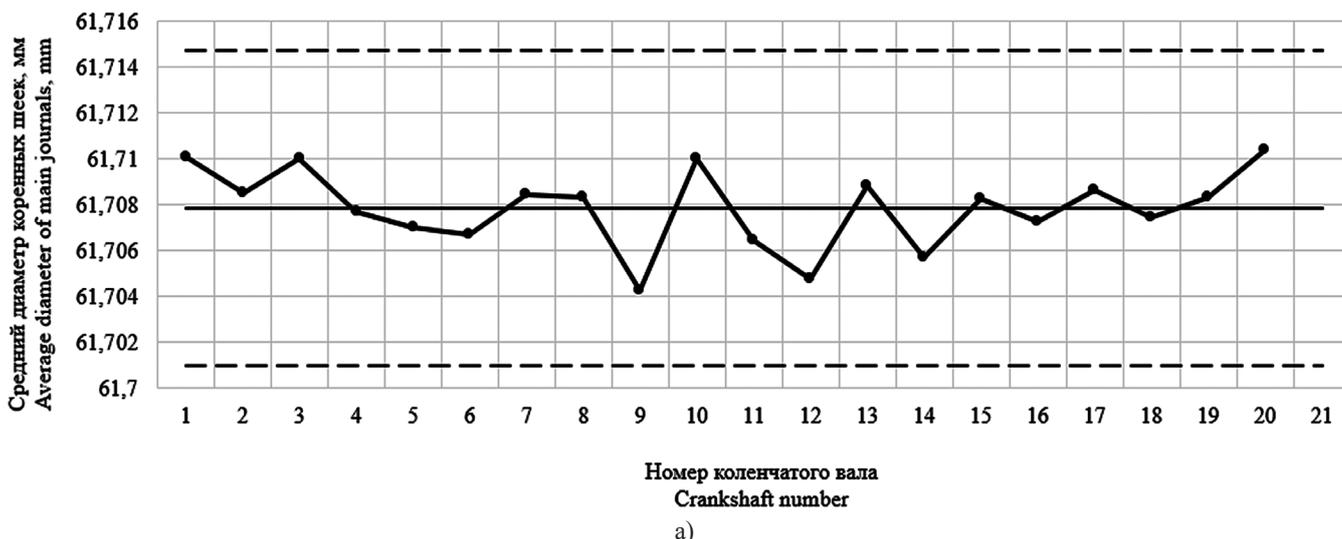


Рис. 2. Карты средних арифметических значений (а) и скользящих размахов (б) диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер

Fig. 2. Maps of arithmetic averages (a) and moving ranges (b) of diameters of the ZMZ engine main bearing journals after processing for the repair size

Таблица 2

Исходные данные для построения контрольных карт средних арифметических значений и размахов диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер

Table 2

Initial data for the construction of control maps of arithmetic averages and diameter ranges of the ZMZ engine main bearing journals after processing for the repair size

Параметр контрольной карты / Parameter of the control card	Значение, мм / Value, mm
Центральная граница $\bar{X}$ -карты / Central boundary of the $\bar{X}$ -card	61,708
Верхняя контрольная граница $\bar{X}$ -карты / Upper control boundary of the $\bar{X}$ -card	61,7123
Нижняя контрольная граница $\bar{X}$ -карты / Lower control boundary of the $\bar{X}$ -card	61,7034
Центральная граница R-карты / Central boundary of the R-card	0,008
Верхняя контрольная граница R-карты / Upper control boundary of the R-card	0,0162
Нижняя контрольная граница R-карты / Lower control boundary of the R-card	0

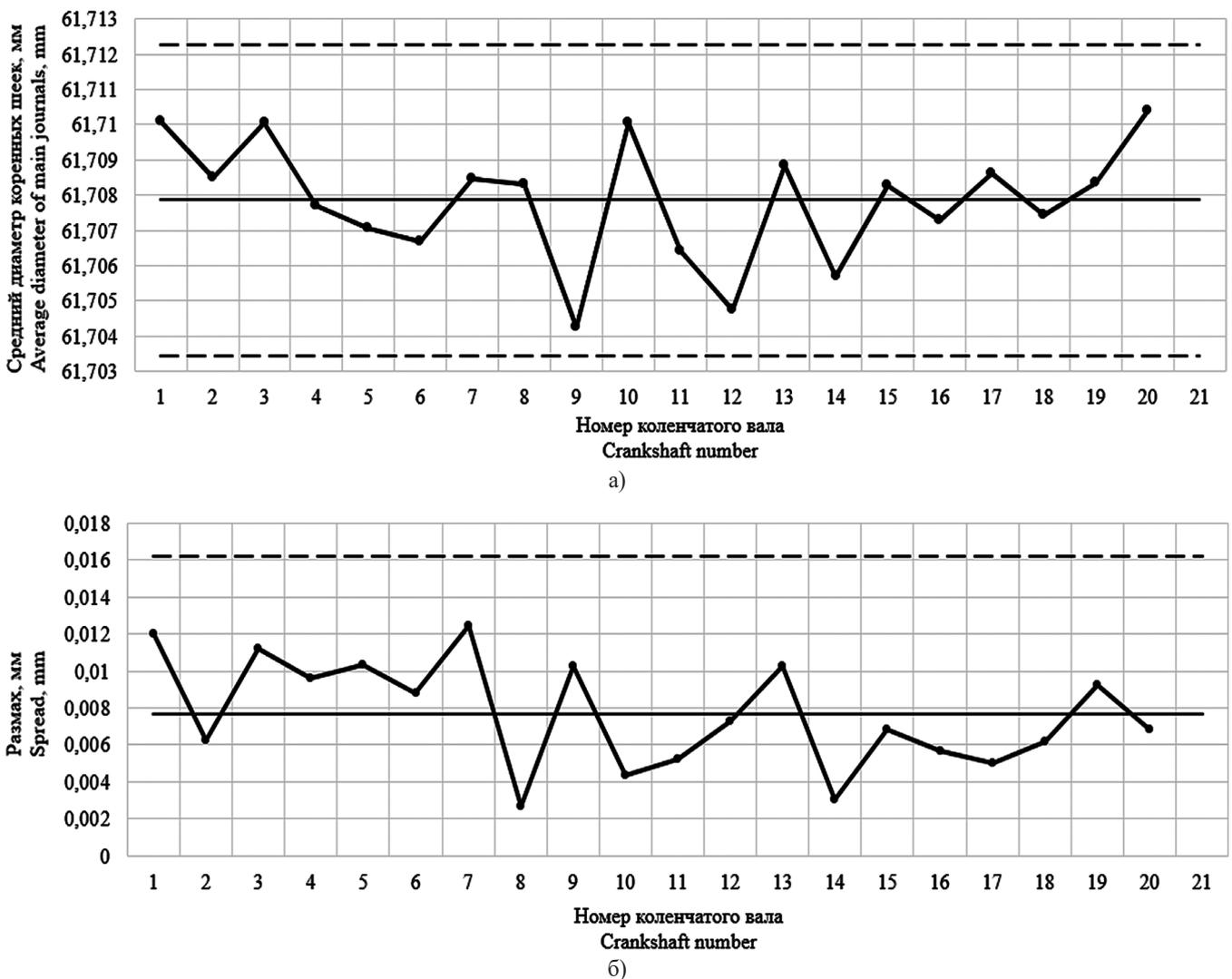


Рис. 3. Карты средних арифметических значений (а) и размахов (б) диаметров коренных шеек двигателя ЗМЗ после обработки под ремонтный размер

Fig. 3. Maps of arithmetic mean values (a) and transverse values (b) of the diameters of the ZMZ engine main bearing journals after processing for the repair size

Таблица 3

Исходные данные для построения гистограммы и эмпирической и теоретической кривой распределения диаметров коренных шеек коленчатых валов, обработанных под ремонтный размер

Table 3

Initial data for constructing a histogram and empirical and theoretical curves of the diameter distribution of the main bearing journals processed for the repair size

Границы интервала, мм / Boundaries of the interval, mm		Относительная частота Relative frequency	Теоретическая частота Theoretical frequency
Нижняя / Lower	Верхняя / Upper		
61,700	61,702	0,04	0,05
61,702	61,704	0,12	0,14
61,704	61,707	0,22	0,31
61,707	61,709	0,27	0,40
61,709	61,711	0,15	0,33
61,711	61,714	0,17	0,16
61,714	61,716	0,03	0,04

По данным, представленным в таблице 3, построены гистограмма и полигон эмпирического распределения. Проверка гипотезы о нормальности эмпирического распределения с помощью критерия  $\chi$ -квадрат показала, что с вероятностью 85% распределение можно считать нормальным.

По данным таблицы 3 были рассчитаны статистические характеристики рассеяния диаметров коренных шеек коленчатых валов, обработанных под ремонтный размер (табл. 4).

Индекс воспроизводимости процесса обработки коренных шеек коленчатых валов двигателей ЗМЗ составил  $C_p = 0,93$  (табл. 4). Поскольку  $C_p < 1$ , то процесс можно считать неудовлетворительным (зона рассеяния шире поля допуска). Это означает, что изменчивость технологической системы не позволяет обрабатывать коренные шейки коленчатого вала без брака. Коэффициент настроенности (центрированности) технологического процесса составляет 0,0015. При такой настройке даже с учетом индекса воспроизводимости  $C_p < 1$  вероятность появления неисправимого брака близка к нулю, а вероятность появления исправимого брака равна 1,95%.

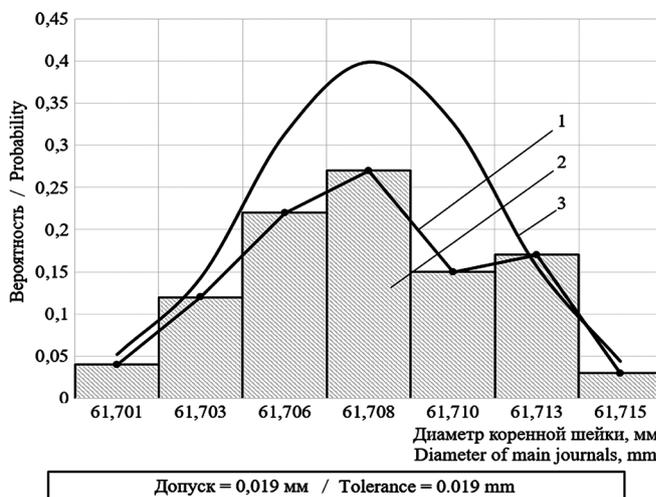


Рис. 4. Рассеяние диаметров коренных шеек коленчатых валов двигателей ЗМЗ, обработанных под ремонтный размер:  
1 – полигон эмпирического распределения;  
2 – гистограмма эмпирического распределения;  
3 – теоретическая кривая распределения

Fig. 4. Scatter of the diameters of the ZMZ engines main bearing journals processed for repair size:  
1 – polygon empirical distribution polygon; 2 – histogram of the empirical distribution; 3 – theoretical distribution curve

Таблица 4

Статистические характеристики рассеяния диаметров коренных шеек коленчатых валов, обработанных под ремонтный размер

Table 4

Statistical characteristics of the diameter scatter of the main bearing journals processed for the repair size

Параметр распределения / Distribution parameter	Значение / Value
Среднее арифметическое, $\bar{x}$ , мм / Arithmetic mean $\bar{x}$ , mm	61,708
Зона рассеяния, $\omega$ , мм / Scattering zone $\omega$ , mm	0,0204
Вероятный процент исправимого брака, $Q_{ис}$ , % / Probable percentage of correctable defects $Q_{is}$ %	1,95
Вероятный процент неисправимого брака, $Q_{неис}$ , % / Probable percentage of incorrigible defects $Q_{ineis}$ %	0
Суммарная вероятность брака, $Q_{бп}$ , % / Total probability of defects $Q_{bp}$ %	1,95
Индекс воспроизводимости, $C_p$ / Reproducibility index $C_p$	0,93
Коэффициент настроенности технологического процесса, $K_n$ / Coefficient of adjustment of the technological process $K_n$	0,015

## Выводы

Оценка обработанных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ под ремонтный размер по диаграмме «Ящик с усами» показала, что все диаметры шеек находятся в границах поля допуска на обработку. Контрольные карты Шухарта показали случайный характер разброса, технологический процесс является стабильным и управляемым. С помощью гистограммы установлена вероятность появления исправимого брака после обработки коренной шейки двигателя под ремонтный размер (1,95%), вероятность появления неисправимого брака равна нулю. Рассчитанный индекс воспроизводимости 0,93 свидетельствует

о существенном износе оборудования, и со временем индекс будет уменьшаться. В связи с этим риски возникновения брака будут возрастать.

Качество настройки станка для обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер можно считать приемлемым, а качество обработки под ремонтный размер – соответствующим требованиям технической документации на ремонт.

Для анализа качества процесса обработки коренных шеек коленчатого вала под ремонтный размер рекомендуется регулярное последовательное применение трех инструментов для выявления разброса размеров и несоответствий, что особенно актуально для изношенного оборудования.

## Список источников

1. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Скороходов Д.М. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М // Вестник машиностроения. 2023. № 8. С. 701-704. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-8-701-704>
2. Бурак П.И., Голубев И.Г. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса» // Техника и оборудование для села. 2023. № 7 (313). С. 2-7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-7-2-7>
3. Малыха Е.Ф., Катаев Ю.В., Закарчевский О.В., Тарасова В.А. Критерии формирования и развития вторичного рынка подержанной сельскохозяйственной техники // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 6 (75). С. 103-109. <https://doi.org/10.33938/216-103>
4. Кушнарев Л.И., Севостьянова Д.Л. К стабильно высокому качеству продукции машиностроения // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 2. С. 32-36. EDN: LDMOSA
5. Корнилович С.А., Трофимов Б.С. Анализ точности, стабильности технологического процесса шлифования коленчатых валов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15, № 6 (64). С. 878-885. EDN: YUNIKD
6. Tarasenko B., Dzasheev A.M., Markov V., Zagidullin R., Akhmetshin S., Yakushev A. Method for repairing steel crankshaft joints. E3S Web of Conferences: II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023). Tashkent: EDP Sciences. 2023;443:04005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304005>
7. Kumaran S.V., Wahab D.A., Aziz N.A., Wahid Z. Guidelines for Automotive Component Repair Using Additive Manufacturing in Industry 4.0: Design and Process Perspective. Journal of Information System and Technology Management. 2024;9(34):20-32. <https://doi.org/10.35631/JISTM.934002>
8. Aziz N.A., Elanggoven L., Wahab D.A., Zakaria A., Kamarulzaman N., Awang N. Failure-based design validation for effective repair of multi-metal additive manufacturing: the case of remanufacturable brake caliper. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2024;132:1425-1437. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13425-x>
9. Сквородин В.Я., Антипов А.В. Влияние режима финишной обработки шеек коленчатого вала на антифрикционные свойства поверхности // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 41-1. С. 38-43. EDN: YQNAHR

## References

1. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.J. Vergazova Yu.G., Skorokhodov D.M. Production and repair of domestic machines for agroindustrial complexes from the position of the 5M principle. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2023;8:701-704. (In Russ.) <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-8-701-704>
2. Burak P.I., Golubev I.G. Renewal of the park of agricultural machinery with the framework of the departmental project "technical modernization of the agro-industrial complex". *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;7:2-7. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-7-2-7>
3. Malykha E.F., Kataev Yu.V., Zakarchevski O.V., Tarasova V.A. Criteria for the formation and development of the secondary market of used agricultural machinery. *Ekonomika, Trud, Upravlenie v Selskom Khozyaystve*. 2021;6:103-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.33938/216-103>
4. Kushnarev L.I., Sevostyanova D.L. On high-repeatability quality of engineering industry products. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2022;2:32-36. (In Russ.)
5. Kornilovich S.A., Trofimov B.S. Precision, stability analysis of the crankshaft grinding technological process. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018;15(6):878-885. (In Russ.)
6. Tarasenko B., Dzasheev A.M., Markov V., Zagidullin R., Akhmetshin S., Yakushev A. Method for repairing steel crankshaft joints. *E3S Web of Conferences: II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023)*. Tashkent: EDP Sciences. 2023;443:04005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304005>
7. Kumaran S.V., Wahab D.A., Aziz N.A., Wahid Z. Guidelines for automotive component repair using additive manufacturing in industry 4.0: design and process perspective. *Journal of Information System and Technology Management*. 2024;9:20-32. <https://doi.org/10.35631/JISTM.934002>
8. Aziz N.A., Elanggoven L., Wahab D.A., Zakaria A., Kamarulzaman N., Awang N. Failure-based design validation for effective repair of multi-metal additive manufacturing: the case of remanufacturable brake caliper. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024;132:1425-1437. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13425-x>
9. Skovorodin V.Ya., Antipov A.V. The effect of mode of finishing of crankshaft journals on anti-friction surface properties. *Izvestiya Mezhdunarodnoy Akademii Agrarnogo Obrazovaniya*. 2018;41-1:38-43. (In Russ.)

10. Розно М.И. Статистический приемочный контроль качества продукции: свойства и возможности. Ч. 1 // Контроль качества продукции. 2020. № 9. С. 32-39. EDN: OLZZCK

11. Бриш В.Н., Старостин А.В., Осипов Ю.Р. Применяемость статистических методов анализа и контроля качества продукции машиностроения на разных этапах производства // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-4. С. 719-724. EDN: XHTVZ

12. Шпер В.Л. Инструменты качества и не только! Ч. 3. С чего начать (продолжение) // Методы менеджмента качества. 2021. № 3. С. 48-54. EDN: RNZYNO

13. Рогожина Е.А., Тверской О.Ю. Сравнение типов контрольных карт Шухарта для количественных данных с помощью верификации разработанных алгоритмов // Промышленность и сельское хозяйство. 2022. № 1 (42). С. 46-56. EDN: AAOYLZ

#### Информация об авторах

**Олег Альбертович Леонов**<sup>1,2,3,4,5,6</sup>, д-р техн. наук, профессор; oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

**Нина Жоровна Шкаруба**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор; shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

**Галина Николаевна Темасова**<sup>3</sup>, канд. экон. наук, доцент; temasova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>

**Дарья Александровна Пупкова**<sup>4</sup>, ассистент; bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>

**Лаврентий Александрович Гринченко**<sup>5</sup>, ассистент; grinchenko@rgau-msha.ru

**Игорь Николаевич Кравченко**<sup>6</sup>, д-р техн. наук, профессор; kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

#### Вклад авторов

О.А. Леонов – концептуализация и общее научное руководство; Н.Ж. Шкаруба – компьютерная графика, аппроксимация и верификация массива полученных данных, редактирование окончательной версии рукописи;

Г.Н. Темасова – проведение исследований, обработка массива полученных данных, формирование черновика рукописи, разработка аннотации;

Д.А. Пупкова – литературный анализ;

Л.А. Гринченко – обработка информации, оформление черновика рукописи.

И.Н. Кравченко – научное руководство

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 19.03.2024; поступила после рецензирования и доработки 20.05.2024; принята к публикации 24.05.2024

10. Rozno M.I. Statistical acceptance quality control: properties and capabilities. Part I. *Production Quality Control*. 2020;9:32-39. (In Russ.)

11. Brish V.N., Starostin A.V., Osipov Yu.R. Applicability of statistical methods of analysis and quality control of engineering products at different stages of production. *Fundamentalnye Issledovaniya = Fundamental Research*. 2016;12-4:719-724. (In Russ.)

12. Shper V.L. Quality tools and something more! Part 3. Where to begin (to be continued). *Metody Menedzhmenta Kachestva = Methods of Quality Management*. 2021;3:48-54. (In Russ.)

13. Rogozhina E.A., Tverskoy O.Yu. Comparing the types of Shewhart control charts for quantitative data through the verification of the developed algorithms. *Promyshlennost i Selskoe Khozyaystvo*. 2022;1:46-56. (In Russ.)

#### Author Information

**Oleg A. Leonov**<sup>1,2,3,4,5,6</sup>, DSc (Eng), Professor, oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

**Nina Zh. Shkaruba**<sup>2</sup>, DSc (Eng), Professor, shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

**Galina N. Temasova**<sup>3</sup>, PhD (Econ), Associate Professor; temasova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>

**Daria A. Pupkova**<sup>4</sup>, Assistant Professor, bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>

**Lavrentiy A. Grinchenko**<sup>5</sup>, Assistant Professor, grinchenko@rgau-msha.ru

**Igor N. Kravchenko**<sup>6</sup>, DSc (Eng), Professor, kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia

#### Author Contribution

O.A. Leonov – conceptualization and general research supervision; N.Zh. Shkaruba – computer graphics, approximation and verification of the data set, finalizing (revising and editing) of the manuscript;

G.N. Temasova – investigation, processing of the data set, writing – original draft preparation, abstract writing;

D.A. Pupkova – literature review;

L.A. Grinchenko – data processing, writing – original draft preparation.

I.N. Kravchenko – research supervision.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism

Received 19.03.2024; Revised 20.05.2024; Accepted 24.05.2024.