

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.713.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-103-110>

Проектирование комплексных калибров для контроля деталей шпоночных соединений при ремонте редукторов

О.А. Леонов¹, Н.Ж. Шкаруба², Д.А. Пупкова³✉, Л.А. Гринченко⁴, А.В. Чепурин⁵, В.О. Леонов⁶

^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

² shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

³ bogolyubova@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>

⁴ grinchenko@rgau-msha.ru

⁵ av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>

⁶ oaleonov@yandex.ru

Аннотация. Преимуществом применения комплексных калибров при контроле геометрических параметров деталей шпоночных соединений является значительное снижение трудоемкости контроля. Основной сложностью применения комплексных калибров является необходимость проектирования набора, состоящего из комплексных калибра-пробки и калибра-призмы, с учетом нормируемых значений контролируемых параметров данного соединения, а также регулярное их воспроизводство по мере износа. Цель исследований – спроектировать набор комплексных калибров для контроля размеров и геометрических параметров вала со шпоночным пазом и отверстия муфты со шпоночным пазом, обеспечивающих собираемость соединения вала с цепной муфтой, установленных на универсальном редукторе Н 090.40.000 завода Моссельмаш. В качестве теоретической основы исследований и разработки послужили нормативные документы, регламентирующие требования к допускам контролируемых параметров и размерам комплексных калибров. Методология базируется на комплексном подходе включая анализ технической документации, расчетно-теоретические методы и проектирование конструкций калибров. В результате произведенных расчетов установлено, что толщина контрольной шпонки в калибре-пробке и калибре-призме с учетом допуска на изготовление составит $13,995_{-0,005}$. Размер калибра-пробки для контроля наименьшего внутреннего размера муфты – $49,995_{-0,004}$. Размер проходного калибра-пробки с учетом высоты контрольной шпонки – $53,5_{-0,25}$. Установлено, что наименьший предельный размер толщины контрольной шпонки калибра-пробки и калибра-призмы составляет 13,985 мм. Наименьший предельный размер диаметра изношенного калибра-пробки – 49,982 мм. Контроль при поверке (калибровке) установленных размеров калибра-пробки и калибра-призмы, находящихся в эксплуатации, позволит своевременно выявить их износ. Применение спроектированного набора комплексных калибров обеспечит высокую точность контроля и надежность оценки собираемости шпоночного соединения вала редуктора с цепной муфтой. Результаты данной работы могут использоваться в машиностроении при техническом контроле шпоночных соединений.

Ключевые слова: калибр; комплексные калибры; калибр-пробка; калибр-призма; контроль; шпоночное соединение; проектирование комплексных калибров

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025 г.).

Для цитирования: Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Пупкова Д.А., Гринченко Л.А., Чепурин А.В., Леонов В.О. Проектирование комплексных калибров для контроля деталей шпоночных соединений при ремонте редукторов // *Агроинженерия*. 2026. Т. 28, № 3. С. 103-110. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-103-110>

ORIGINAL ARTICLE

Designing complex gauges for inspection of keyway joint parts when repairing reduction gears

O.A. Leonov¹, N.Zh. Shkaruba², D.A. Pupkova³✉, L.A. Grinchenko⁴, A.V. Chepurin⁵, V.O. Leonov⁶

^{1,2,3,4,5,6} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

² shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>

³ bogolyubova@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>

⁴ grinchenko@rgau-msha.ru

⁵ av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>

⁶ oaleonov@yandex.ru

Abstract. A significant advantage of using complex gauges for inspecting the geometric parameters of keyway joint components is the substantial reduction in inspection labor intensity. However, the primary challenge in their application lies in designing a set comprising a complex plug gauge and a prism gauge, accounting for the standardized values of the controlled parameters of the joint, as well as ensuring their regular reproduction as wear occurs. The study aimed to design a set of complex gauges for inspecting the dimensions and geometric parameters of a shaft with a keyway and a coupling bore with a keyway. The gauges were required to ensure the assemblability of the shaft connection with a chain coupling installed on the universal reduction gear N090.40.000 manufactured by the *Mosselmash* plant. The theoretical foundation of the research included regulatory documents governing tolerance requirements for the controlled parameters and the dimensions of complex gauges. The methodology employed an integrated approach that included analysis of technical documentation, computational and theoretical methods, and gauge design. The calculations established that, with manufacturing tolerance taken into account, the thickness of the control key in both the plug gauge and the prism gauge is $13.995^{-0.005}$ mm. The plug gauge for controlling the minimum internal dimension of the coupling measures $49.995^{-0.04}$ mm. The go plug gauge, accounting for the height of the control key, measures $53.5^{-0.25}$ mm. For controlling the limit dimensions of worn gauges, the minimum limit size of the control key thickness for both the plug gauge and the prism gauge is 13.985 mm, while the minimum limit size of the diameter of the worn plug gauge is 49.982 mm. Inspection during verification (calibration) of the established dimensions of the plug gauge and the prism gauge in service will timely detect their wear. The use of the designed set of complex gauges will ensure high measurement accuracy and reliable assessment of the assemblability of the keyway joint between the reduction gear shaft and the chain coupling. The study results are applicable in mechanical engineering for the technical inspection of keyway joints.

Keywords: gauge; complex gauges; plug gauge; prism gauge; inspection; keyway joint; design of complex gauges

Funding. This work was carried out within the framework of the project for the establishment and development of the Engineering Center of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Agreement No. 075-15-2025-543 dated June 16, 2025).

For citation: Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Pupkova D.A., Grinchenko L.A., Chepurin A.V., Leonov V.O. Designing complex gauges for inspection of keyway joint parts when repairing reduction gears. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(3):103-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-103-110>

Введение

Повышение энергоёмкости техники наравне с зарубежными аналогами [1, 2] и улучшение качества выпускаемой продукции [3, 4] являются актуальными для отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Помимо грамотного выбора материалов и термических операций [5], необходимы подбор пар по коэффициенту трения и моделирование шероховатости поверхности [6], расчет зазоров, допусков

и посадок, обеспечение требований точности [7]. Чтобы гарантировать точность соединений, одних расчетов недостаточно – требуется проведение контрольных операций [8-10].

В ремонтном производстве и машиностроении для контроля размеров деталей применяются, как правило, универсальные средства измерений [11, 12] и калибры [13, 14]. Применение калибров имеет ряд преимуществ и недостатков по сравнению

с универсальными средствами измерений. Особенно калибры незаменимы для проверки размеров деталей, образующих резьбовые, шлицевые и шпоночные соединения [15, 16], так как универсальными средствами измерений – например, штангенциркулями, измерять эти размеры будет неудобно. Кроме того, применение калибров гарантирует собираемость соединений [17, 18]: например, если проходная сторона калибр-пробки вошла в отверстие, а вал свободно проходит через проходную сторону калибра-скобы, то эти детали точно образуют соединение на сборке. Еще одним преимуществом использования калибров являются относительно небольшие затраты на изготовление (приобретение), так как калибры, как правило, изготавливаются силами самого предприятия. В сфере эксплуатации экономия достигается за счет повышения производительности труда контролера, так как калибры позволяют мгновенно определить, является ли годной деталь, в отличие от универсальных средств измерений, при использовании которых необходимо время на настройку прибора и считывание показаний.

Основным недостатком использования калибров является ограниченное применение. Особенно это относится к поэлементным калибрам-пробкам, так как каждый такой калибр рассчитывается и изготавливается под один контролируемый размер, в то время как универсальные средства измерений могут контролировать размеры деталей в широком диапазоне. Отметим, что в современных исследованиях [13, 16, 18] предлагаются различные варианты конструкций регулируемых калибров. Недостатками этих вариантов являются удорожание изготовления ввиду сложности конструкции и меньшая точность по отношению к классическому исполнению.

Для одновременного контроля нескольких параметров применяются комплексные калибры. Все вышеперечисленные преимущества применения поэлементных калибров относятся и к комплексным калибрам. Поскольку при использовании комплексного калибра контролируются не только предельные размеры, но и отклонения формы и расположения поверхностей, их применение в большей степени гарантирует собираемость соединений. Для обеспечения гарантий собираемости соединений необходимо одновременно проектировать и совместно применять комплексные калибры как для контроля отверстия, так и для контроля вала.

Цель исследований: спроектировать набор комплексных калибров для контроля размеров

и геометрических параметров вала со шпоночным пазом и отверстия муфты со шпоночным пазом, обеспечивающих собираемость соединения вала с цепной муфтой, установленных на универсальном редукторе Н 090.40.000 завода Моссельмаш.

Материалы и методы

В рамках исследований применены методы проектирования комплексных калибров для контроля шпоночных соединений в сельскохозяйственной технике. В качестве теоретической основы послужили нормативные документы, регламентирующие требования к допускам контролируемых параметров и размерам комплексных калибров. Методология базируется на комплексном подходе включая анализ технической документации, расчетно-теоретические методы и проектирование конструкций калибров.

Объект исследований – широко применяемое в сельскохозяйственной технике шпоночное соединение с цепной муфтой типа $\text{Ø}50\text{H}8/h9$.

Предмет исследований – методика проектирования комплексных калибров.

Результаты и их обсуждение

Для соединений валов с цепными муфтами $\text{Ø}50\text{H}8/h9$, установленных на универсальном редукторе Н 090.40.000 завода Моссельмаш, произведены расчеты исполнительных размеров комплексных калибров:

– калибр-пробка для одновременного контроля диаметра отверстия муфты $\text{Ø}50\text{H}8^{(+0,039)}$ и ширины шпоночного паза в муфте $\text{Ø}14\text{H}9^{(+0,043)}$;

– калибр-призма для контроля ширины шпоночного паза на валу $\text{Ø}14\text{H}9^{(+0,043)}$. Кроме того, калибр-призма контролирует симметричность шпоночного паза (насколько точно паз расположен относительно диаметральной плоскости вала), высоту (глубину) шпоночного паза (расстояние от поверхности паза до образующей вала), параллельность шпоночного паза (параллельность сторон паза относительно оси вала).

Шпоночное соединение вала с цепной муфтой можно считать сложным, поэтому для проектирования комплекта комплексных калибров необходимо учитывать различные параметры (табл. 1).

При использовании данных, представленных в таблице 1, были произведены расчеты предельных размеров калибра-пробки и калибра-призмы. Расчеты произведены согласно ГОСТ 24109-80 «Калибры для шпоночных соединений» и ГОСТ 24853-81 «Калибры гладкие для размеров

Таблица 1

Параметры, определяющие поля допуска комплексных калибров для соединений валов с цепными муфтами Ø50H8/h9

Table 1

Critical parameters that determine the tolerance fields of complex gauges used to verify shaft connections with chain couplings (nominal size Ø50H8/h9)

Параметры	Значение, мм
<i>Калибр-пробка для диаметра отверстия муфты Ø50H8</i>	
Номинальный внутренний диаметр отверстия муфты, d	50
Наименьший диаметр отверстия муфты, d_{min}	50
Глубина паза вала, t_1	5,5
Отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра для отверстия относительно наименьшего предельного размера, Z	0,006
Допуск на изготовление калибров для отверстия муфты, H	0,004
<i>Калибр-пробка для контроля ширины шпоночного паза 14H9</i>	
Номинальная ширина паза вала, b	14
Наименьшая ширина шпоночного паза, b_{min}	14
Высота шпонки, h	9
Расстояние от середины поля допуска на изготовление калибра-пробки до наименьшего предельного размера вала, Z_b	0,0075
Допуск на изготовление калибра-пробки по толщине шпонки, H_b	0,005
Допустимый выход изношенного размера калибра-пробки за границу поля допуска размера паза, y_b	0,015
Допуск симметричности контрольной шпонки калибра-пробки, T_s	0,020
<i>Калибр-призма для контроля ширины шпоночного паза 14H9</i>	
Номинальная ширина паза вала, b	14
Наименьшая ширина шпоночного паза, b_{min}	14
Высота шпонки, h	9
Допуск на изготовление калибра-пробки по толщине шпонки, H_b	0,005
Допустимый выход изношенного размера калибра-пробки за границу поля допуска размера паза, y_b	0,015
Допуск симметричности контрольной шпонки калибра-призмы, T_s	0,008
Допустимый выход размера, изношенного проходного поэлементного калибра для отверстия за границу поля допуска, y	0,005

Таблица 2

Проектирование калибра-пробки и калибра-призмы для ширины паза под шпонку 14H9 и внутреннего диаметра Ø50H8

Table 2

Design of a plug gauge and a prism gauge for a keyway width of 14H9 and an internal diameter of Ø50H8

Определяе-мый размер	Новый калибр			
	номинальные размеры		предельные отклонения	
	формула	расчет, мм	обозначение	расчет, мм
Толщина контрольной шпонки калибра-пробки и калибра-призмы, b_k	$b_k = b_{min} - Z_b + \frac{H_b}{2}$	$14 - 0,0075 + \frac{0,005}{2} = 13,995$	H_b	-0,005
Диаметр калибра-пробки, d_k	$d_k = d_{min} - y$	$50 - 0,005 = 49,995$	H	-0,004
Размер калибра-пробки с контрольной шпонкой, H_k	$H_k = d - t_1 + h$	$50 - 5,5 + 9 = 53,5$	$h12$	-0,250
Величина, определяющая глубину вхождения шпоночной калибра-призмы в шпоночный паз вала, C	$C = \frac{d}{2} - t_1 + r$	$\frac{50}{2} - 5,5 + 0,25 = 19,75$	$js12$	$\pm 0,125$

до 500 мм. Допуски». Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Из произведенных расчетов (табл. 2) установлено, что для контроля наименьшей ширины шпоночного паза $14^{+0,043}$ толщина контрольной шпонки, установленной в калибре-пробке и калибре-призме, с учетом допуска на изготовление составит $13,995_{-0,005}$. Размер калибра-пробки для контроля наименьшего внутреннего размера муфты $\varnothing 50^{+0,039}$ составляет $49,995_{-0,004}$. Размер проходной калибра-пробки с учетом высоты контрольной шпонки – $53,5_{-0,25}$.

В процессе эксплуатации проходные калибры изнашиваются, в результате чего возникают ошибки контроля. Поэтому необходимо установить предельно допускаемые размеры для изношенных калибров. По достижении установленных предельных размеров калибры должны быть изъяты из эксплуатации.

Из данных таблицы 3 следует, что наименьший предельный размер толщины контрольной шпонки, установленной в калибре-пробке и калибре-призме, составляет 13,985 мм. Наименьший предельный размер изношенной калибра-пробки – 49,982 мм. Установленные размеры должны контролироваться при поверке (калибровке) калибра-пробки и калибра-призмы, находящихся в эксплуатации, что позволит своевременно выявлять их износ.

Расположение поля допусков является важным для обеспечения точности изготовления шпоночных соединений, долговечности комплексных калибров, соответствия требованиям технической документации. Расположение полей допусков шпоночных калибров-пробок d_k , шпоночных калибров-пробок и калибров-призм b_k представлено на рисунке 1.

Таблица 3

Расчет предельных размеров изношенных калибра-пробки и калибра-призмы для контроля ширины паза под шпонку $\varnothing 14H9$ и внутреннего диаметра $\varnothing 50H8$

Table 3

Calculation of the limit dimensions of worn gauge plugs and gauge prisms for controlling the width of the $\varnothing 14H9$ keyway and the inner diameter of $\varnothing 50H8$

Определяемый размер	Предельный размер изношенного калибра	
	формула	расчет, мм
Толщина контрольной шпонки калибра-пробки и калибра-призмы, b_k	$b_k = b_{\min} - y_b$	$14,000 - 0,015 = 13,985$
Диаметр калибра-пробки, d_k	$d_k = d_{\min} - 2y - \frac{H}{2} - Z$	$50 - 2 \cdot 0,005 - \frac{0,004}{2} - 0,006 = 49,982$

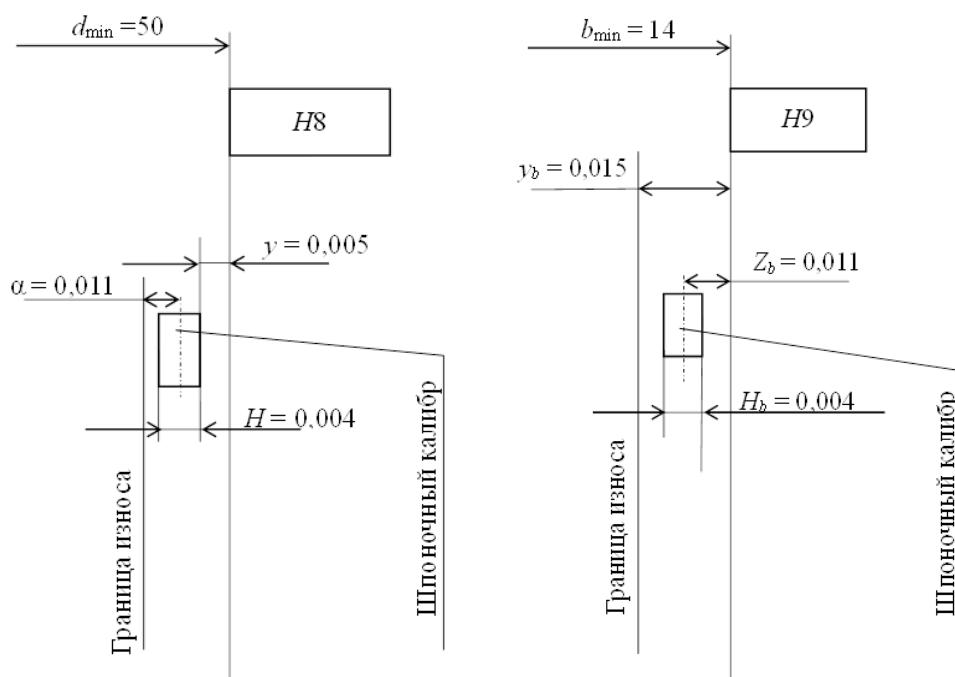


Рис. 1. Расположение полей допусков внутреннего диаметра вала $\varnothing 50H8$ и ширины паза под шпонку $14H9$

Fig. 1. Location of the tolerance fields for the inner diameter of the shaft $\varnothing 50H8$ and the keyway width $14H9$

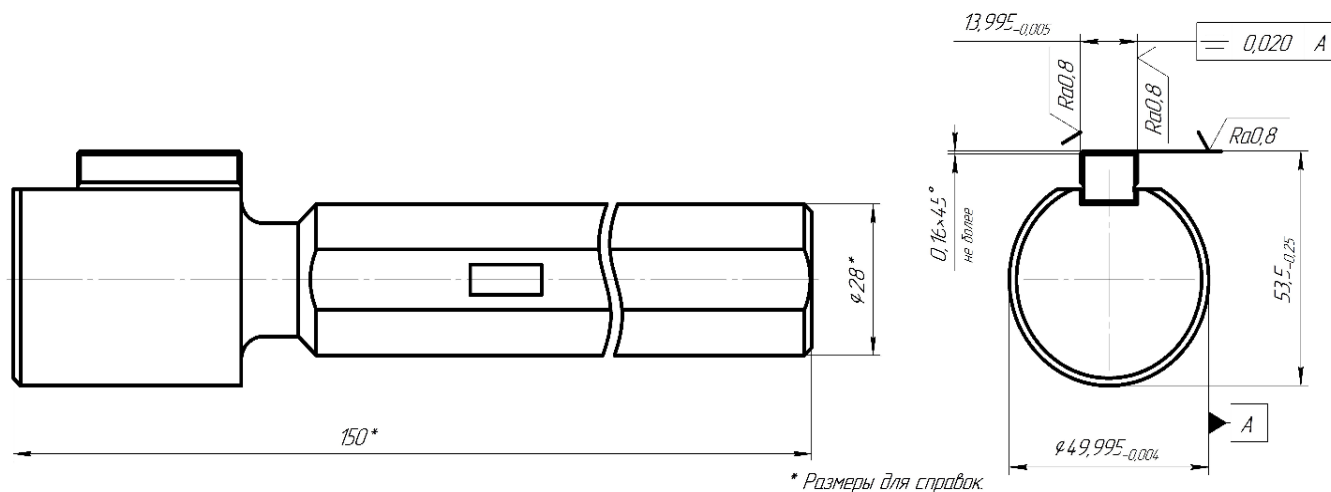


Рис. 2. Размеры шпоночной калибра-пробки

Fig. 2. Dimensions of a keyway plug gauge

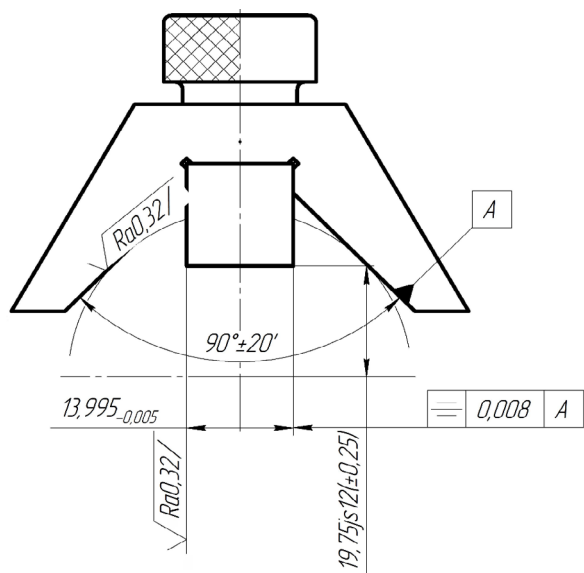


Рис. 3. Размеры шпоночной калибра-призмы

Fig. 3. Dimensions of a keyway prism gauge

Исполнительные размеры, указанные на эскизах с учетом верхних и нижних отклонений (рис. 2, 3), представляют собой основные параметры, по которым должны изготавливаться

комплексные калибры для контроля шпоночных соединений.

На эскизах комплексных калибров (рис. 2, 3) указаны не только предельные размер, но и требования к поверхностям, соблюдение которых является необходимым для обеспечения долговечности инструмента. Кроме того, следует отметить, что допуски на изготовление комплексных калибров значительно меньше, чем допуск на контролируемые параметры деталей, что обеспечивает точность и достоверность результатов контроля.

Выводы

1. Применение спроектированного набора комплексных калибров позволит достигнуть высокой точности измерений, повысить качество изготавливаемых деталей, сократить временные затраты на процесс технического контроля и оптимизировать его.

2. Предложенная методика проектирования комплексных калибров может применяться в машиностроении при разработке технических средств контроля геометрических параметров деталей.

Список источников

1. Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н., Прокофьев М.М. Перспективы развития тракторостроения в России // Техника и оборудование для села. 2023. № 5 (311). С. 2-7. EDN: UKRERY
2. Дидманидзе О.Н., Девянин С.Н., Парлюк Е.П., Марков В.А. Энергообеспечение сельскохозяйственного тракторостроения России // Агроинженерия. 2021. № 2 (102). С. 4-8. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-4-8>
3. Кушнарев Л.И., Кушнарев С.Л. Качество продукции – основа конкурентоспособности российского машиностроения // Технический сервис машин. 2023. № 2 (151). С. 48-55. EDN: VOUCAT

Reference

1. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Prokofiev M.M. Prospects for the development of tractor construction in Russia. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;5:2-7. (In Russ.)
2. Didmanidze O.N., Devyanin S.N., Parlyuk E.P., Markov V.A. Power supply of farm tractor industry in Russia. *Agricultural Engineering*. 2021;2:4-8. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-4-8>
3. Kushnarev L.I., Kushnarev S.L. Product quality as the basis of competitiveness of Russian engineering. *Machinery Technical Service*. 2023;2:48-55. (In Russ.)
4. Kushnarev L.I. Quality requirements of modern technology. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2019;2:18-21. (In Russ.)

4. Кушнарев Л.И. Требования к качеству современной техники // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 18-21
5. Dudko V., Yuzbekova D., Gaidar S. et al. Tempering behavior of novel low-alloy high-strength steel. *Metals*. 2022;12(12):2177. <https://doi.org/10.3390/met12122177>
6. Gaidar S.M., Pavlov A.E., Pikina A.M. et al. Fractal characteristics of steel surface profilograms. *Steel in Translation*. 2024;54(11):1077-1081. <https://doi.org/10.3103/S0967091224701961>
7. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. и др. Расчет посадок соединений упругих втулочно-пальцевых муфт с валами // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102, № 2. С. 96-101. EDN: ITNRLQ
8. Шкаруба Н.Ж. Современные организационные подходы к метрологическому обеспечению ремонтного производства // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2013. № 3 (59). С. 41-44. EDN: TEFXMV
9. Грановский В.А. Метрологическое обеспечение на промышленном предприятии: проблемы и решения // Датчики и системы. 2009. № 8. С. 94-108. EDN: KYOZMJ
10. 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
11. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 34-35. EDN: UNUIAN
12. Глубокое А.В., Ястребова Т.С. Проблемы автоматизации выбора универсальных средств измерений линейных размеров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. № 4 (26). С. 37-42. <https://doi.org/10.21685/2307-5538-2018-4-6>. EDN: VRZLBE
13. Силютин А.С., Филиппова Л.Б., Филиппов Р.А. и др. Автоматизация расчета калибра межосевого расстояния в условиях реального производства // Качество. Инновации. Образование. 2018. № 3 (154). С. 54-59. EDN: XWOZRJ
14. Дубовик Е.А. Контроль полуоси заднего моста легкового автомобиля // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. № 2. С. 65-68. EDN: BRRRLP
15. Козлов В.Б., Истомин А.Б., Гемба И.Н. Ремонт и восстановление валов, муфт, шлицевых и шпоночных соединений // Главный механик. 2021. № 7. С. 32-43. EDN: SPEENZ <https://doi.org/10.33920/pro-2-2107-03>
16. Шутиков М.А., Феофанов А.Н., Схиртладзе А.Г. Обеспечение эффективного контроля среднего диаметра резьбы калибров-пробок // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 3-4 (57). С. 110-114. EDN: YGTZPF
17. Дубовик Е.А. Сборка и разборка шатунно-поршневой группы машин // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 10. С. 449-454. EDN: ZQQUH
18. Мухиддинов К.С. Методы и средства контроля и качества сборки // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 10 (27). С. 1084-1087. EDN: SLAHVR
5. Dudko V., Yuzbekova D., Gaidar S. et al. Tempering behavior of novel low-alloy high-strength steel. *Metals*. 2022;12(12):2177. <https://doi.org/10.3390/met12122177>
6. Gaidar S.M., Pavlov A.E., Pikina A.M. et al. Fractal characteristics of steel surface profilograms. *Steel in Translation*. 2024;54(11):1077-1081. <https://doi.org/10.3103/S0967091224701961>
7. Leonov O.A., Shkaruba N.J., Vergazova Yu.G. et al. Calculation of joint fits of elastic sleeve-pin couplings with shafts. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2023;102(2):96-101. (In Russ.)
8. Shkaruba N.J. Modern organizational approaches to measurement assurance repair production. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2013;3:41-44. (In Russ.)
9. Granovskiy V.A. Measurement assurance at an industrial enterprise: problems and solutions. *Sensors & Systems*. 2009;8:94-108. (In Russ.)
10. Krivov A.S. Metrological assurance of high-tech production with the new quality management standards. *Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol, diagnostika*. 2017;11:24-28. (In Russ.)
11. Dorokhov A.S., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D.M. Quality of agricultural machinery control tools. *Selskiy mekhanizator*. 2015;10:34-35. (In Russ.)
12. Glubokov A.V., Yastrebova T.S. Problems of automation of the selection of universal measuring instruments of linear dimensions. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2018;4:37-42. (In Russ.)
13. Silyutina A.S., Filippova L.B., Filippov R.A. et al. Automation of caliber calculation of the cross-section distance in conditions of real production. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2018;3:54-59. (In Russ.)
14. Dubovik E.A. Control of the semi-axle a rear axle of a passenger car. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*. 2022;2:65-68. (In Russ.)
15. Kozlov V.B., Istomin A.B., Gemba I.N. Repair and restoration of shafts, couplings, splined and keyway joints. *Glavniy mekhanik*. 2021;7:32-43. (In Russ.)
16. Shutikov M.A., Feofanov A.N., Skhirtladze A.G. Providing effective monitoring of the middle thread diameter of internal gages. *International Research Journal*. 2017;3-4:110-114. (In Russ.)
17. Dubovik E.A. Assembling and disassembling the connecting rod and piston machines. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*. 2017;10:449-454. (In Russ.)
18. Mukhiddinov K.S. Methods and means of the control and quality of assembling. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*. 2018;10:1084-1087. (In Russ.)

Информация об авторах

- ¹ **Леонов Олег Альбертович**, д-р техн. наук, профессор; oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; SPIN-код: 9399-5650
- ² **Шкаруба Нина Жоровна**, д-р техн. наук, профессор; shkaruba@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>; SPIN-код: 4773-0700
- ³ **Пупкова Дарья Александровна**, канд. техн. наук, доцент; bogolyubova@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>; SPIN-код: 4290-2003
- ⁴ **Гринченко Лаврентий Александрович**, канд. техн. наук, старший преподаватель; grinchenko@rgau-msha.ru; SPIN-код: 1654-9555
- ⁵ **Чепурин Александр Васильевич**, канд. техн. наук, доцент; av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>; SPIN-код: 9893-4966
- ⁶ **Леонов Василий Олегович**, студент; oaleonov@yandex.ru
- ^{1,2,3,4,5,6} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Россия; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Вклад авторов

О.А. Леонов – методология, концептуализация;
 Н.Ж. Шкаруба – формальный анализ, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
 Д.А. Пупкова – визуализация, ресурсы, создание черновика рукописи;
 Л.А. Гринченко – ресурсы;
 А.В. Чепурин – визуализация, создание черновика рукописи;
 В.О. Леонов – администрирование данных

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 17.02.2026, после рецензирования и доработки 30.04.2026, принята к публикации 14.05.2026

Author Information

- Oleg A. Leonov**¹, DSc (Eng), Professor; oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020
- Nina Zh. Shkaruba**², DSc (Eng), Professor; shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>; Scopus Autor ID: 57210255441; Researcher ID: AAF-6340-2019
- Darya A. Pupkova**³[✉], CSc (Eng), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>, bogolyubova@rgau-msha.ru[✉]; Scopus ID: 57488490600; Researcher ID AAD-6559-2022
- Lavrentiy A. Grinchenko**⁴, CSc (Eng), Senior Lecturer, grinchenko@rgau-msha.ru; Scopus ID: 57224356749
- Aleksandr V. Chepurin**⁵, CSc (Eng), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>, av.tchepurin@rgau-msha.ru; Scopus ID: 57300359000
- Vasily O. Leonov**⁶, student, oaleonov@yandex.ru
- ^{1,2,3,4,5,6} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

O.A. Leonov – methodology, conceptualization;
 N.Zh. Shkaruba – formal analysis, writing – review and editing of the manuscript;
 D.A. Pupkova – visualization, resources, writing – original draft;
 L.A. Grinchenko – resources;
 A.V. Chepurin – visualization, writing – original draft;
 V.O. Leonov – data curation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest and are responsible for plagiarism.

Received 17.02.2026; Revised 30.04.2026; Accepted 14.05.2026