

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 658.562

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-74-83>

Обоснование рационального количества измерений для обеспечения точности при проверке погрешности нутромеров на ремонтном предприятии

Г.Н. Темасова¹✉, А.Г. Арженовский², В.К. Зимогорский³, Я.К. Зимогорский⁴, В.С. Бондарев⁵

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

¹ temasova@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>

² argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>

³ zimogorskij@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-0060-7803>

⁴ zimyarik@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-2124-6564>

⁵ boss2569@ya.ru

Аннотация. Точность применяемых при ремонте сельскохозяйственной техники и оборудования измерительных приборов влияет на уровень качества восстанавливаемых деталей и узлов. Однако на ремонтных предприятиях калибровка измерительных приборов не является обязательной процедурой. В связи с этим разработана методика оценки погрешности нутромеров на ремонтном предприятии путем проведения многократных измерений образцовой величины. Для достижения статистической стабильности и надежности измерений провели три серии экспериментов с нутромерами различного принципа действия. Количество измерений каждым нутромером составляло 5, 10, 15, 20, 25, 40, 60, 80, 100. Выявили, при измерении трехточечным микрометрическим нутромером GUANGXIN 11-14 начиная с 20 измерений происходит значительное снижение влияния случайной составляющей погрешности; стабильность статистических параметров начинается при 25 измерениях. При измерении клиновым индикаторным нутромером НИ 18-50 случайная составляющая погрешности исключается при 40 измерениях, стабилизация статистических параметров начинается с 25 изменений. Индикаторный нутромер с рычажной передачей НИ 100-160 исключает случайную составляющую погрешности при 100 измерениях, статистические параметры стабилизируются при 20 измерениях. В результате исследований установили рациональное количество измерений: 25-кратное измерение гарантирует достаточную точность оценки погрешности прибора и не влечет за собой лишних затрат. Применение разработанной методики на ремонтных предприятиях позволит сократить время проведения измерительных операций без потери качества, повысить достоверность контроля отверстий, снизить процент брака при восстановлении деталей, сократить гарантийные случаи, и как следствие – повысить конкурентоспособность отечественных ремонтных предприятий за счет высокого качества предоставляемых ремонтных услуг.

Ключевые слова: нутромер; калибровка измерительных приборов; калибровка; погрешность; погрешность измерений; количество измерений; методика оценки погрешности

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

Для цитирования: Темасова Г.Н., Арженовский А.Г., Зимогорский В.К., Зимогорский Я.К., Бондарев В.С. Обоснование рационального количества измерений для обеспечения точности при проверке погрешности нутромеров на ремонтном предприятии // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 4. С. 74-83. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-74-83>

ORIGINAL ARTICLE

Rationalizing the number of measurements to ensure accuracy in checking the error of bore gauges at a repair facility

G.N. Temasova^{1✉}, A.G. Arzhenovskiy², V.K. Zimogorskiy³, Ya.K. Zimogorskiy⁴, V.S. Bondarev⁵

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

¹ temasova@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>

² argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>

³ zimogorskiy@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-0060-7803>

⁴ zimyari@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-2124-6564>

⁵ boss2569@ya.ru

Abstract. The accuracy of measuring instruments used in the repair of agricultural machinery and equipment directly affects the quality level of restored parts and assemblies. However, calibration of measuring instruments is not a compulsory procedure at repair facilities. In this regard, the authors have developed a methodology for assessing the error of bore gauges at a repair facility by performing multiple measurements of a reference value. To achieve static stability and measurement reliability, three series of experiments were conducted with bore gauges of different operating principles. The number of measurements taken with each bore gauge was 5, 10, 15, 20, 25, 40, 60, 80, and 100. It was found that when measuring with a three-point micrometer bore gauge GUANGXING 11-14, starting from 20 measurements, there is a significant reduction in the influence of the random error component; statistical parameter stability begins at 25 measurements. When measuring with a wedge-type dial bore gauge NI 18-50, the random error component is eliminated at 40 measurements, while statistical parameter stabilization begins at 25 measurements. The dial bore gauge with lever transmission NI 100-160 eliminates the random error component at 100 measurements, with statistical parameters stabilizing at 20 measurements. As a result, the rational number of measurements was established: 25-fold measurement guarantees sufficient accuracy in assessing the instrument error and does not entail unnecessary costs. The application of the developed methodology at repair enterprises will reduce the time required for measurement operations without compromising quality, increase the reliability of hole inspection, reduce the rejection rate during part restoration, decrease warranty claims, and consequently enhance the competitiveness of domestic repair enterprises through the high quality of repair services provided.

Keywords: bore gauge; calibration of measuring instruments; calibration; error; measurement error; number of measurements; error assessment methodology

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

For citation: Temasova G.N., Arzhenovskiy A.G., Zimogorskiy V.K., Zimogorskiy Ya.K., Bondarev V.S. Rationalizing the number of measurements to ensure accuracy in checking the error of bore gauges at a repair facility. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):74-83 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-74-83>

Введение

Современная сельскохозяйственная техника, подлежащая ремонту, насыщена достаточно сложными и точными соединениями, требования к которым с каждым годом ужесточаются [1, 2]. От точности контрольно-измерительных средств зависит уровень качества восстанавливаемых деталей и агрегатов [3-5], поэтому для обеспечения их правильной работы и единства измерений на ремонтных предприятиях должна регулярно проводиться калибровка измерительных приборов [7-9].

Необходимость регулярного проведения калибровок обусловлена соблюдением нормативных ак-

тов (Федерального Закона от 26 июня 2008 г. № 102)¹, практическими соображениями с целью недопущения постепенного выхода из строя измерительного инструмента, и соответственно, возникновения ошибок первого и второго рода, повторных ремонтов и потери доверия потребителя [10-12].

Правила, регулирующие проведение калибровки, опираются на правила проведения поверки, в рамках которых требуется выполнить измерения по всему диапазону измерений прибора с заданным шагом,

¹ Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения: 01.02.2026).

либо при калибровке проводится минимальное количество измерений в двух или трех точках диапазона измерений. Реально же на ремонтных предприятиях калибровка измерительных приборов не проводится, так как эта процедура не является обязательной. Возникает вопрос о том, можно ли оценить погрешность измерений прибора на предприятии без калибровки.

Цель исследований: разработка методики оценки погрешности нутромеров на ремонтном предприятии путем проведения многократных измерений образцовой величины.

Материалы и методы

Объект исследований – процесс проверки погрешности нутромеров различного принципа действия при контроле отверстий.

Предмет исследований – критерии, позволяющие определить минимальное количество измерений при проверке погрешности средств измерений.

Выбор средств измерений для контроля линейных размеров осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 8.051-81² и РД 50-98-86³. Выбор конкретного средства измерения обусловлен предельными значениями контролируемого параметра и допустимыми отклонениями, устанавливаемыми нормативно-технической документацией изделия.

Средство измерений должно быть выбрано из указанного диапазона таким образом, чтобы максимальная погрешность измерения (Δ_{lim}) не превышала допустимого значения ($\delta_{\text{изм}}$)⁴:

$$\Delta_{\text{lim}} \leq \delta_{\text{изм}}. \quad (1)$$

При отсутствии конкретных указаний в нормативно-технической документации рекомендуется устанавливать допустимую погрешность измерения равной одной трети от допуска контролируемого параметра [13]:

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

где T – допуск контролируемого параметра.

² ГОСТ 8.051-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм: утв., введ. Постановлением Госстандарта СССР от 23 ноября 1981 г. № 5067. Дата введения: 1982-01-01. М.: Издательство стандартов, 1982. 12 с.

³ РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81): утв., введ. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 июля 1986 г. № 2035. Дата введения: 1987-07-01. М.: Издательство стандартов, 1987. 80 с.

⁴ Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Карпузов В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2026. 196 с. EDN: TWJKDI.

Принцип основан на следующем подходе: допуск (T) определяется как максимальное отклонение фактического размера детали от номинального значения, при котором считается, что деталь соответствует техническим требованиям. При наличии большой погрешности измерения существует вероятность отсутствия дефекта или выбраковки деталей, которые могут быть отремонтированы. Чтобы избежать такого риска, погрешность измерительного устройства выбирается значительно меньшей по сравнению с допустимым значением. Данное правило широко используется в промышленности и помогает обеспечить требуемый уровень точности измерений даже при отсутствии специальных инструкций от производителя.

Полная оценка качества контроля предполагает комплексный подход, учитывающий технические аспекты (точность измерений, частота и тип ошибок) и экономические факторы (затраты, экономия).

На рисунке 1 представлены алгоритм выбора средств измерений, согласно которому оценивается количество неправильно забракованных и неправильно принятых деталей, и технико-экономические показатели выбранных средств измерений.

Для определения рационального количества измерений, позволяющего исключить влияние случайной составляющей погрешности, необходимо выполнить несколько серий прямых измерений с многократными наблюдениями. Полученные результаты следует обработать по методике ГОСТ 8.207-76⁵ в такой последовательности:

1. Оценить среднее арифметическое значение результатов многократных наблюдений $\bar{X}$ по формуле [13]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3)$$

где n – объем выборки; X_i – i -й результат измерения из выборки n .

Среднее арифметическое значение выборки является наиболее распространенным способом оценки истинного результата измеряемой величины.

2. Рассчитать среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения результата

⁵ ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: утв., введ. Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 15 марта 1976 г. № 619. Дата введения: 1977-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. 8 с.

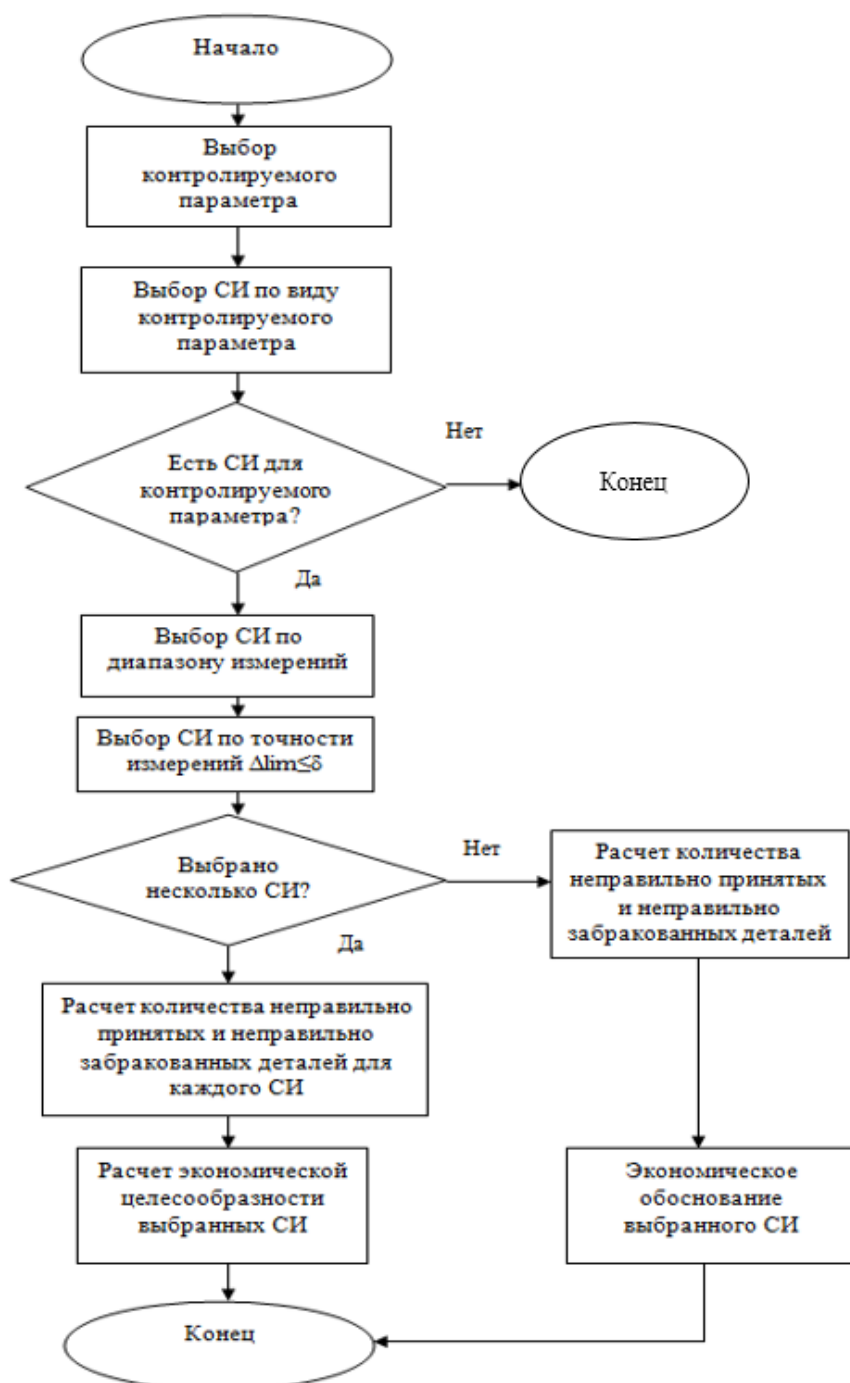


Рис. 1. Алгоритм выбора средств измерений
Fig. 1. Algorithm for selecting measuring instruments

измерений σ_x и среднего квадратического отклонения единичного результата наблюдения σ_x^- [13] по выражениям:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}; \quad (4)$$

$$\sigma_x^- = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (5)$$

3. Проверить результаты наблюдений на наличие грубых ошибок (промахов). Для этого контролируются наибольшее и наименьшее значения

из полученных результатов наблюдений (вариационного ряда) [13]. Существует несколько критериев для проверки. При сериях с числом измерений $n \leq 20$ используется критерий Романовского (формула 6). При количестве измерений $n > 20$ используется критерий трех сигм (формула 7):

$$B = \frac{|X_i - \bar{X}|}{\sigma_x}, \quad (6)$$

где B – значение критерия, сравниваемое с табулированным значением, зависящим от объема выборки n ;

$$P(|X_i - \bar{X}| \geq 3\sigma) \leq \frac{1}{9}, \quad (7)$$

где P – вероятность того, что при наблюдении была допущена грубая погрешность.

4. Оценить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения θ . В нашем случае приняты границы погрешности используемых средств измерений [13]. Пределы неисключенной систематической погрешности позволяют учитывать возможные систематические сдвиги, возникающие при измерениях, и повышают общую точность оцениваемого результата.

5. Оценить пределы случайной составляющей погрешности измерения Δ_p для заданной доверительной вероятности [13]:

$$\Delta_p = t_p \sigma_x, \quad (8)$$

где t_p – значение коэффициента Стьюдента, зависящее от объема выборки n .

6. Учесть среднеквадратичное отклонение численного значения результатов и неисключенную систематическую погрешность для определения доверительных пределов погрешности результатов измерений [13]:

$$\frac{\theta}{\sigma_x} \begin{cases} \geq 8 \rightarrow \Delta_\Sigma = \Delta_p \\ \leq 0,8 \rightarrow \Delta_\Sigma = \theta \\ 0,8 \geq \frac{\theta}{\sigma_x} \geq 8 \rightarrow \Delta_\Sigma = K \cdot \sigma_\Sigma, \end{cases} \quad (9)$$

где Δ_Σ – границы суммарной погрешности результата измерения; K – коэффициент, зависящий от соотношения θ и Δ_p (формула 10); σ_Σ – оценка суммарного среднего квадратического результата измерений (формула 11):

$$K = \frac{\Delta_p + \theta}{\sigma_x + \sqrt{\frac{\theta^2}{3}}}; \quad (10)$$

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\frac{\theta^2}{3} + \sigma_x^2}. \quad (11)$$

Выполнение данных процедур позволит минимизировать затраты на измерения и потери от измерений, сохранив при этом требуемую точность измерений и высокую степень достоверности получаемых результатов.

Результаты и их обсуждение

Для достижения стабильности статических показателей и надежности измерений проведены три серии экспериментов с помощью трехточечного внутреннего микрометрического нутромера GUANGXING 11-14, клинового индикаторного нутромера НИ 18-50 с электронным индикатором SHANE ИЦ-25,4 и рычажного индикаторного нутромера НИ 100-160 с индикаторной головкой ИЧ-10. Каждым нутромером проведены многократные измерения в количестве 5, 10, 15, 20, 25, 40, 60, 80, 100.

Условия проведения измерений представлены в таблице 1, характеристики средств измерений указаны в таблицах 2, 3. После статистической обработки данных дополнительно определяли процент изменения случайной погрешности при увеличении количества измерений $\Delta_{\%P}$:

$$\Delta_{\%P} = \left(1 - \frac{\Delta_{Pi-1}}{\Delta_{Pi}}\right) 100\%. \quad (12)$$

Обработанные результаты измерений приведены в таблицах 4-6.

Согласно результатам расчетов при измерении трехточечным микрометрическим нутромером (табл. 4), в соответствии с условием формулы 9, начиная с 20 измерений происходит значительное снижение влияния случайной составляющей погрешности. Согласно значениям σ_x , σ_Σ и Δ_p стабильность статистических параметров начинается при 25 измерениях.

По результатам измерений клиновым индикаторным нутромером (табл. 5), в соответствии с условием формулы 9, случайная составляющая погрешности исключается при 40 измерениях, стабилизация статистических параметров σ_x , σ_Σ и Δ_p начинается с 25 изменений.

Таблица 1

Условия проведения измерений

Table 1

Measurement conditions

Условие	Параметры условия
Температура воздуха	(20 ± 2) , °C
Относительная влажность воздуха	(60 ± 10) , %
Освещенность помещения	(625 ± 125) , Лк
Чистота контактных поверхностей	Рабочие поверхности протирали безворсовыми салфетками, пропитанными изопропиловым спиртом. Очистку проводили перед началом измерений и после каждой серии
Время выдержки перед измерениями и между ними	Перед началом измерений – 30 мин, после каждой серии измерений – 15 мин

Таблица 2

Характеристики трехточечного микрометрического нутромера

Table 2

Characteristics of the three-point bore micrometer gauge

Средство измерений	Диапазон измерений, мм	Базовая глубина измерений, мм	Цена делений, мм	Погрешность измерений, мм
Трехточечный внутренний микрометрический нутромер GUANGXING 11-14	11...14	50	0,001	±0,002

Таблица 3

Характеристики индикаторных нутромеров

Table 3

Characteristics of indicator bore gauges

Средство измерений	Наибольшая глубина измерений, мм	Диапазон измерений, мм	Диапазон показаний, мкм	Цена делений, мм	Погрешность измерений, мм
НИ 18-50 в сборе с ИЦ-25,4	150	18...50	0...99,99	0,01	0,03
НИ 160 в сборе с ИЧ 0-10	400	100...160	0...0,1	0,01	±0,018

Таблица 4

Результаты измерений трехточечным нутромером

Table 4

Measurement results obtained with a three-point bore gauge

Параметр	Количество измерений								
	5	10	15	20	25	40	60	80	100
	Результаты расчетов								
$\bar{X}$, мм	10,9956	10,9948	10,9948	10,9948	10,9948	10,9945	10,9943	10,9941	10,9941
$\sigma_{\bar{x}}$, мкм	0,510	0,389	0,279	0,225	0,191	0,164	0,134	0,113	0,098
σ_x , мкм	1,140	1,229	1,082	1,005	0,957	1,038	1,035	1,014	0,984
Δ_p , мкм	1,416	0,879	0,599	0,470	0,395	0,332	0,267	0,226	0,195
Δ_{96p} , %	—	37,89	31,84	21,51	16,00	16,02	17,40	15,65	13,49
Θ , мкм	2								
$\Theta / \sigma_{\bar{x}}$	3,92	5,14	7,16	8,90	10,44	12,19	14,96	17,64	20,33
Δ_{Σ} , мкм	2,590	2,273	2,153	2	2	2	2	2	2

Таблица 5

Результаты измерений индикаторным нутромером с клиновой передачей

Table 5

Measurement results obtained using an indicator bore gauge with a wedge gear

Параметр	Количество измерений								
	5	10	15	20	25	40	60	80	100
	Результаты расчетов								
$\bar{X}$, мм	0,828	0,828	0,829	0,8295	0,8292	0,829	0,8285	0,8285	0,8281
$\sigma_{\bar{x}}$, мкм	2,000	1,333	1,182	0,881	0,800	0,665	0,631	0,599	0,537
σ_x , мкм	4,472	4,216	4,577	3,940	4,000	5,150	6,308	3,789	4,800
Δ_p , мкм	5,553	3,016	2,235	1,894	1,651	1,430	1,252	1,112	1,018
Δ_{96p} , %	—	45,68	25,90	15,25	12,83	13,36	12,50	11,16	8,43
Θ , мкм	6								
$\Theta / \sigma_{\bar{x}}$	3,00	4,50	5,08	6,81	7,50	9,02	9,51	10,01	11,18
Δ_{Σ} , мкм	0,846	0,698	0,649	0,649	0,638	0,600	0,600	0,600	0,600

Таблица 6

Результаты измерений индикаторным нутромером с рычажной передачей

Table 6

Measurement results obtained using a lever-operated indicator bore gauge

Параметр	Количество измерений								
	5	10	15	20	25	40	60	80	100
	Результаты расчетов								
$\bar{X}$, мм	0,048	0,058	0,06	0,06	0,0608	0,0605	0,0621	0,0625	0,0627
$\sigma_{\bar{x}}$, мкм	3,817	2,677	1,802	1,428	1,179	0,891	0,675	0,558	0,478
σ_x , мкм	8,535	8,464	6,980	6,387	5,897	5,635	5,232	4,992	4,776
Δ_p , мкм	10,598	6,055	3,865	2,989	2,395	1,920	1,509	1,190	0,948
$\Delta_{\%p}$, %	—	42,87	36,17	22,67	19,88	19,81	21,42	21,16	20,33
Θ , мкм	10								
Θ / σ_x	2,620	3,736	5,549	7,002	8,479	11,223	14,806	17,918	20,937
Δ_{Σ} , мкм	2,693	1,801	1,411	1,276	1,193	1,148	1,112	1,077	1,000

Результаты измерений индикаторным нутромером с рычажной передачей (табл. 6) свидетельствуют о том, что исключение случайной составляющей погрешности измерений происходит при 100 измерениях в соответствии с условием формулы 9. При этом статистические параметры $\sigma_{\bar{x}}$, σ_x и Δ_p начинают стабилизироваться при 20 измерениях.

Для определения стабильности измерительного процесса построены графики зависимости σ_x от количества измерений, приведены функции распределения и величина достоверности аппроксимации R^2 (рис. 2).

Анализ данных рисунка 1 показывает, что среднеквадратическое отклонение рассеяния погрешности измерений является максимальным у нутромера с рычажной передачей, и это обусловлено особенностями механизма передачи движения под углом 90°. В его кинематической цепи преобразование осевого перемещения стержня в поперечное движение измерительной поверхности осуществляется через систему рычагов и шарнирных соединений. Суммирование технологических зазоров в кинематических парах, упругие деформации рычагов под действием измерительного усилия, трение в шарнирах, а также их износ в процессе эксплуатации приводят к накоплению погрешностей и нелинейности характеристики преобразования.

Нутромер с клиновой передачей отличается более жесткой кинематической схемой: преобразование движения происходит по принципу наклонной плоскости при отсутствии шарнирных соединений. Контактные поверхности клина работают преимущественно на сжатие, что обеспечивает минимальные упругие деформации и линейную зависимость между перемещениями. Меньшее число подвижных соединений и отсутствие люфтов обуславливают

более высокую стабильность показаний и меньшее рассеяние результатов измерений.

Трехточечный нутромер, оснащенный тремя радиально перемещающимися губками (расположенными под углом 120°), занимает в этом ряду особое положение. Его ключевым преимуществом является эффект автоматического центрирования в отверстии, что исключает погрешность, вызванную перекосом инструмента. Однако преобразование осевого перемещения в радиальное осуществляется в нем через внутренний конусный механизм. Трение между конусом и тремя плунжерами, а также упругие деформации системы создают специфический разброс показаний. Тем не менее отсутствие шарнирных передач и высокая жесткость конструкции обеспечивают ему общую стабильность, превосходящую нутромеры с рычажной и клиновой передачами.

Для лучшего представления динамики изменений случайной погрешности Δ_p при увеличении количества измерений приведен график по показаниям $\Delta_{\%p}$, полученным в результате всех трех серий измерений (рис. 3).

Полученные графики изменений случайной погрешности (рис. 2) свидетельствуют о линейном характере динамики измерения случайной погрешности при достижении 25 и 60 измерений и о незначительной разнице в значениях случайной погрешностей. При этом проведение 25 измерений по сравнению с 60 измерениями несет меньше издержек и облегчает обработку данных.

Таким образом, проведение калибровки на ремонтном машиностроительном предприятии 25 измерений гарантирует, с одной стороны, достаточную точность оценки погрешности нутромера, а с другой – не влечет за собой лишних издержек.

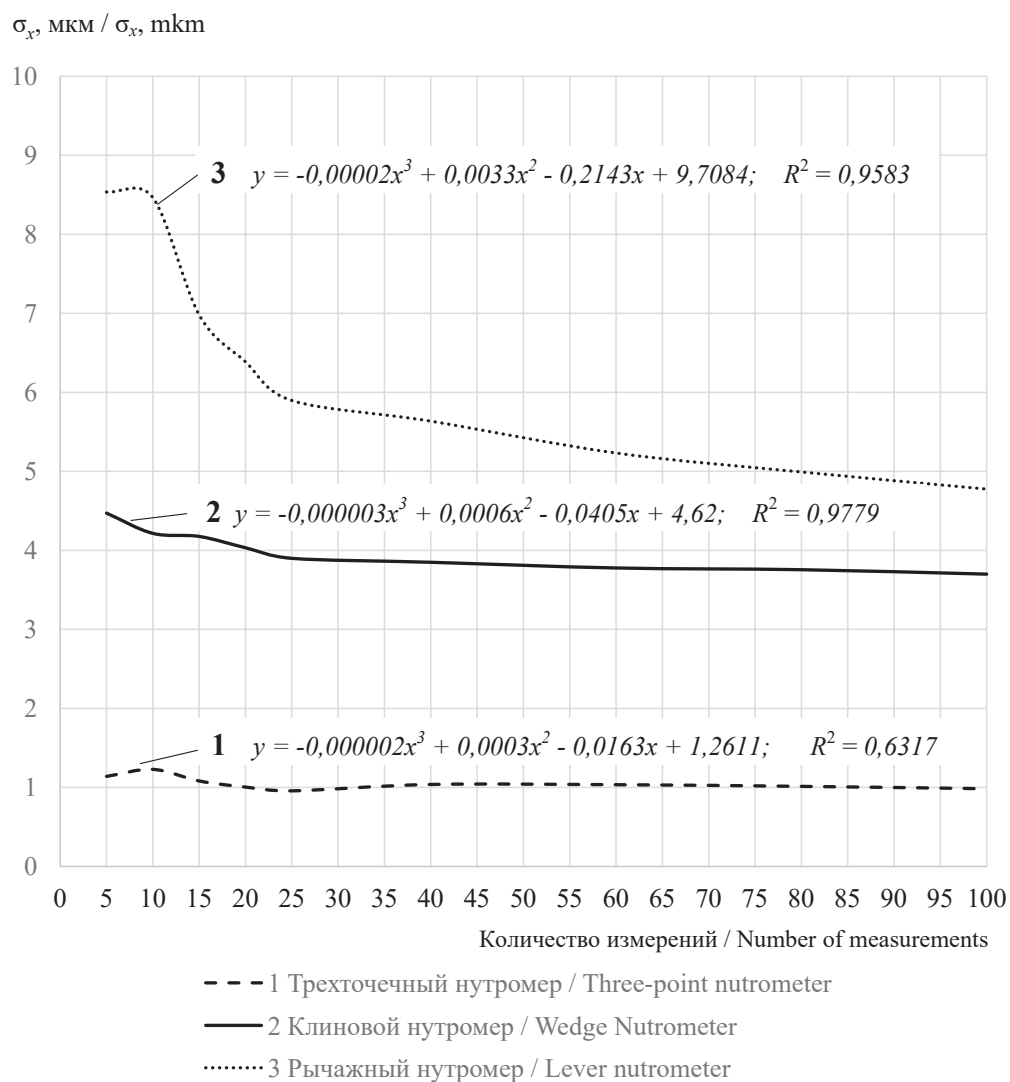
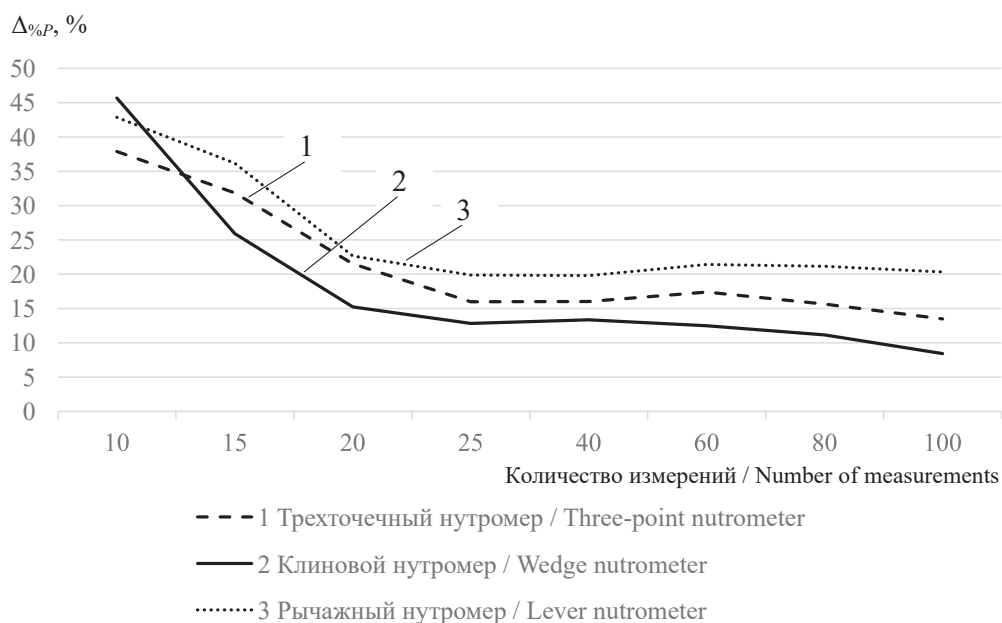
Рис. 2. Изменение σ_x при увеличении количества измеренийFig. 2. Change in σ_x with an increase in the number of measurements

Рис. 3. Изменение случайной погрешности при увеличении количества измерений

Fig. 3. Changes in the random error when increasing the number of measurements

Выводы

1. Разработанная методика оценки погрешности нутромеров может применяться на ремонтных предприятиях при отсутствии калибровки средств измерений.

2. Экспериментально установленное рациональное количество измерений (25) обеспечивает необходимую точность оценивания погрешности.

3. Рекомендуем внедрить предложенную методику в технологические карты контроля размеров деталей при ремонте сельскохозяйственной

техники, разработать и утвердить внутренние стандарты предприятия по периодичности оценки погрешности средств измерений с учетом сезонности ремонтных работ.

4. Применение предложенной методики позволит ремонтным предприятиям повысить достоверность контроля отверстий, снизить процент брака при восстановлении деталей, сократить гарантийные случаи, и как следствие – повысить конкурентоспособность отечественных ремонтных предприятий за счет высокого качества предоставляемых ремонтных услуг.

Список источников

1. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Гринченко Л.А. Расчет суммарного отклонения от соосности выходного вала коробки передач относительно уплотнения // Вестник машиностроения. 2025. Т. 104, № 4. С. 269-274. EDN: HGIQUU
2. Голиницкий П.В., Леонов О.А., Антонова У.Ю. Использование цифровых технологий в обеспечении максимального запаса на изнашивание соединений с зазором // Вестник машиностроения. 2025. Т. 104, № 8. С. 650-656. EDN: JDKASE
3. Корнилович С.А. Особенности контроля сборки цилиндропоршневой группы двигателей // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (29). С. 99-105. EDN: YUPDZE
4. Будко С.И., Галигузов А.В. Исследование изношенных гильз цилиндров // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2025. № 1 (24). С. 35-40. EDN: LHLHML
5. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Метрологические особенности контроля коренных шеек коленчатых валов при ремонте двигателей // Сельский механизатор. 2024. № 10. С. 50-52. EDN: RTJXZD
6. Галиев Р.М., Барыкин А.Ю., Илдарханов Р.Ф. и др. Анализ и методы повышения надежности двигателя внутреннего сгорания // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 4. С. 54-56. EDN: ARJHIJ
7. Stukach O.V. Automated remote calibration of electrical measuring tools on the example of a digital multimeter NI PXI 4072 // Автоматика и программная инженерия. 2023. № 1 (43). С. 15-29. EDN: YBQXDE
8. Кукушкин А.В. Необходимость в расчете неопределенности при калибровке средств измерений // Вестник науки и образования. 2019. № 21-1 (75). С. 26-28. EDN: TAMHLP
9. Левин С.Ф. Калибровка средств измерений: комплекс проблем. Ч. 2 // Законодательная и прикладная метрология. 2023. № 2 (182). С. 35-40. EDN: HYAKWE
10. Данилов А.А. Оценка пригодности методик калибровки средств измерений // Главный метролог. 2018. № 2 (101). С. 42-47. EDN: XOSMIX
11. Овадыкова Ж.В., Отев К.С., Овадыков Э.Х., Окладников С.А. К вопросу о разработке методики калибровки средств измерений // Естественные и технические науки. 2020. № 11 (149). С. 169-174. EDN: SPXQJI
12. Горбушина С.Н., Фаузетдинова А.Р. Управление рисками процесса поверки (калибровки) средств измерений // Методы менеджмента качества. 2019. № 5. С. 44-47. EDN: ZFCMAX
13. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. и др. Методы и средства контроля качества обработки гильз цилиндров (ремонтных машиностроительных предприятиях // Вестник машиностроения. 2020. № 6. С. 40-45. EDN: WFKNZB

References

1. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Grinchenko L.A. Calculation of the total deviation from the coaxial alignment of the gearbox output shaft relative to the seal. *Vestnik mashinostroeniya*. 2025;104(4):269-274. (In Russ.)
2. Golitskiy P.V., Leonov O.A., Antonova U.Yu. Using digital technologies to ensure maximum wear margin for joints with a gap. *Vestnik mashinostroeniya*. 2025;104(8):650-656. (In Russ.)
3. Kornilovich S.A. Features of control of assemblage cylinder piston group. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;1:99-105. (In Russ.)
4. Budko S.I., Galiguzov A.V. Investigation of worn cylinder liners. *Konstruirovaniye, ispolzovanie i nadezhnost mashin selskokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2025;1:35-40. (In Russ.)
5. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Metrological features of the control of the crankshaft root necks during engine repair. *Selskiy mekhanizator*. 2024;10:50-52. (In Russ.)
6. Galiev R.M., Barykin A.Yu., Ildarkhanov R.F. et al. Analysis and methods of improving the reliability of the internal combustion engine. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2022;4:54-56. (In Russ.)
7. Stukach O.V. Automated remote calibration of electrical measuring tools on the example of a digital multimeter NI PXI 4072. *Avtomatika i programmaya inzheneriya*. 2023;1:15-29.
8. Kukushkin A.V. Need for calculating uncertainty when calibrating measurement means. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2019;21-1:26-28. (In Russ.)
9. Levin S.F. Calibration of measuring instruments: a set of problems. Part 2. *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya*. 2023;2:35-40. (In Russ.)
10. Danilov A.A. Assessment of the suitability of calibration methods for measuring instruments. *Glavniy metrolog*. 2018;2:42-47. (In Russ.)
11. Ovadykova Zh.V., Otev K.S., Ovadykov E.Kh., Okladnikov S.A. To the question of development of a method for calibration of measurements. *Natural and Technical Sciences*. 2020;11:169-174. (In Russ.)
12. Gorbushina S.N., Fauzetdinova A.R. Risk management the process of verification (calibration) of measuring instruments. *Metody menedzhmenta kachestva*. 2019;5:44-47. (In Russ.)
13. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Golitskiy P.V., Antonova U.Yu. Methods and means of quality control of processing of cylinder liners at repair machine-building enterprises. *Vestnik mashinostroeniya*. 2020;6:40-45. (In Russ.)

Информация об авторах

- ¹ **Темасова Галина Николаевна**, д-р техн. наук, доцент;
temasova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>; SPIN-код: 8805-3016
- ² **Арженовский Алексей Григорьевич**, д-р техн. наук,
профессор; arzhenovskiy@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>; SPIN-код: 5549-4841
- ³ **Зимогорский Владислав Кириллович**, аспирант;
zimogorskiy@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0009-0004-0060-7803>; SPIN-код: 1262-3315
- ⁴ **Зимогорский Ярослав Кириллович**, аспирант;
zimyarik@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-2124-6564>;
SPIN-код: 2754-4654
- ⁵ **Бондарев Владимир Сергеевич**, магистр; boss2569@ya.ru;
SPIN-код: 2754-4654
- ^{1, 2, 3, 4, 5} Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434,
Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

Г.Н. Темасова – концептуализация, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
А.Г. Арженовский – ресурсы, создание черновика рукописи;
В.К. Зимогорский – методология, проведение исследований;
Я.К. Зимогорский – администрирование проекта, создание черновика рукописи;
В.С. Бондарев – проведение исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 26.02.2026, после рецензирования и доработки 22.06.2026; принята к публикации 03.07.2026

Author Information

- Galina N. Temasova**¹, DSc (Eng), Associate Professor;
temasova@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>; ResearcherID:
AAD-6551-2022
- Aleksey G. Arzhnovsky**², DSc (Eng), Professor;
<https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>;
arzhnovskiy@rgau-msha.ru
- Vladislav K. Zimogorskiy**³, postgraduate student;
zimogorskiy@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0009-0004-0060-7803>
- Yaroslav K. Zimogorskiy**⁴, postgraduate student;
zimyarik@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2124-6564>
- Vladimir S. Bondarev**⁵, MSc student; boss2569@ya.ru
^{1, 2, 3, 4, 5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow,
127434, Russian Federation

Author Contributions:

G.N. Temasova – conceptualization, writing – review and editing of the manuscript;
A.G. Arzhnovskiy – resources, writing – original draft;
V.K. Zimogorskiy – methodology, investigation;
Ya.K. Zimogorskiy – project administration, writing – original draft;
V.S. Bondarev – investigation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 26.02.2026; Revised 22.06.2026; Accepted 03.07.2026