ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.651— 2009

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРИБОРЫ КОНТАКТНЫЕ (ЩУПОВЫЕ) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Методика калибровки

(ISO 12179:2000, NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС»)

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2009 г. № 253-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 12179:2000 «Геометрические характеристики изделий. Текстура поверхности. Профильный метод. Калибровка контактных (щуповых) приборов» (ISO 12179:2000 «Geometrical Product Specification (GPS) — Surface texture: Profile method — Calibration of contact (stylus) instruments», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Февраль 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2000 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2009, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРИБОРЫ КОНТАКТНЫЕ (ЩУПОВЫЕ) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Методика калибровки

State system for ensuring the uniformity of measurements. Contact (stylus) instruments for the measurement of surface roughness. Procedure of calibration

Дата введения — 2010—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на контактные (щуповые) приборы для измерений шероховатости поверхности (далее — приборы), соответствующие требованиям ГОСТ 19300, и устанавливает методику их калибровки.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 19300 Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры

ГОСТ 25142 Шероховатость поверхности. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25142 и [1].

4 Условия калибровки

4.1 Приборы состоят из основания, на котором устанавливают приводной механизм, датчик и устройство для записи профиля. Если основание используют с несколькими приводными механизмами и датчиками, то прибор калибруют в каждой конфигурации.

4.2 Прибор калибруют при любом изменении элементов конфигурации.

Пример — При замене датчика прибор калибруют заново.

Издание официальное

4.3 Прибор калибруют на месте эксплуатации для учета внешних влияющих факторов (шум, температура, вибрация, воздушные потоки и т. д.).

Прибор калибруют по метрологическим характеристикам, которые используют при выполнении определенной измерительной задачи. Например, при измерении шаговых параметров нет необходимости калибровать вертикальное увеличение прибора.

5 Средства калибровки

Для калибровки приборов применяют следующие средства:

- оптическую пластину;
- эталон высоты неровностей: тип А (рисунок 1) (см. [2]);
- эталон шага неровностей: тип С (рисунок 2) (см. [2]);

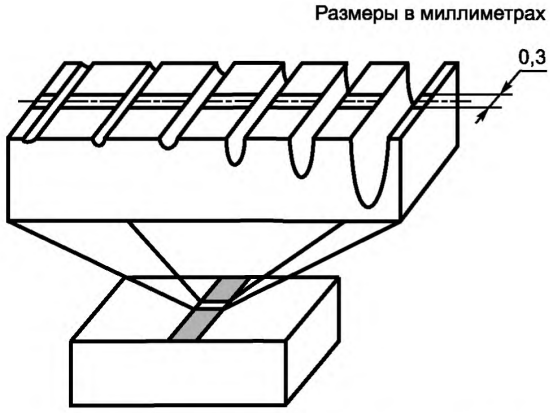


Рисунок 1 — Пример эталона высоты неровностей (тип А)

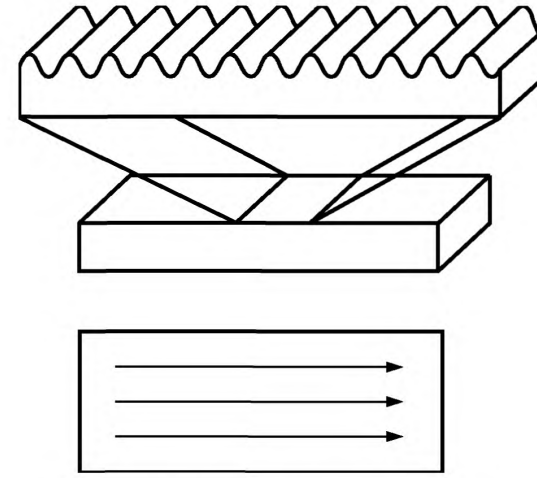


Рисунок 2 — Пример эталона шага неровностей (тип С)

- наклонную оптическую пластину (рисунок 3);

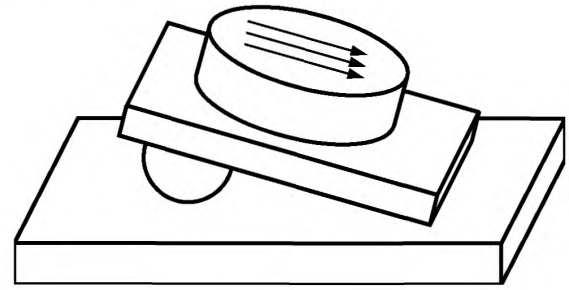
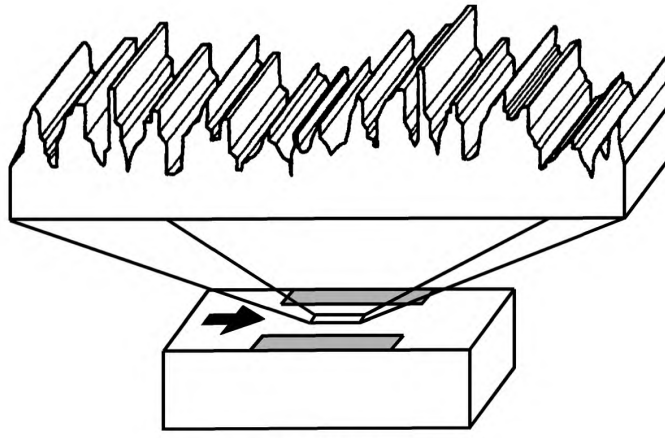


Рисунок 3 — Пример наклонной оптической пластины и схемы измерений

- эталон координат профиля (представляющий собой сферу или призму): тип Е в соответствии с [2];
- эталон шероховатости: тип D (рисунок 4) (см. [2]).

Примечание — Рекомендуется использовать эталон координат профиля для калибровки приборов, у которых щуп поворачивается на ±0,5° в пределах полного диапазона измерений.



Размеры в миллиметрах

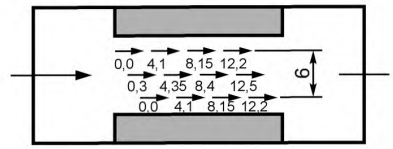


Рисунок 4 — Пример эталона шероховатости (тип D) и схема измерений

6 Определение метрологических характеристик

6.1 Оценка остаточного профиля

Остаточный профиль оценивают с помощью оптической пластины. Для калибровки прибора используют поверхности с параметрами шероховатости Ra, Rz или Rmax.

Примечание — При этом устанавливают влияние прямолинейности независимой направляющей привода датчика, условий окружающей среды и шума прибора.

6.2 Погрешность вертикальной составляющей профиля

Для определения погрешности вертикальной составляющей профиля используют эталон высоты неровности, воспроизводящий высоту профиля.

Примечание — Допускается использовать плоскопараллельные концевые меры длины. При использовании блоков из концевых мер необходимо учитывать неопределенность измерения разности их высот.

6.3 Погрешность горизонтальной составляющей профиля

Для определения погрешности горизонтальной составляющей профиля используют эталон шага неровностей, воспроизводящий средний шаг неровностей профиля RSm.

7 Калибровка

7.1 Калибровка системы координат профиля

Для калибровки системы координат используют наклонную оптическую пластину, которая воспроизводит:

- угол, определенный по методу наименьших квадратов;
- полную высоту Pt исходного профиля, полученного относительно прямой линии, проведенной по методу наименьших квадратов.

Эталон координат профиля воспроизводит полную высоту Pt исходного профиля, полученного после выделения номинальной формы по методу наименьших квадратов, и устанавливает систему координат.

7.2 Калибровка тракта

Для калибровки всего тракта прибора используют эталон шероховатости, который воспроизводит:
- среднеарифметическое отклонение профиля Ra;
- максимальную высоту профиля Rmax.

7.3 Подготовка к калибровке прибора

Перед калибровкой прибор должен быть опробован в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

Перед калибровкой прибора должны быть выполнены следующие процедуры:
- оценен остаточный профиль;
- выровнена плоскость эталона высоты неровностей относительно базовой поверхности. Отклонение от плоскостности всех эталонов должно быть в пределах 10 % диапазона измерений, но не более 10 мкм в пределах длины оценки;
- эталоны шероховатости должны иметь параметры шероховатости, сравнимые по диапазону с параметрами шероховатости поверхности, подлежащей измерению;
- измерения следует проводить в середине измерительного диапазона датчика;
- оценку неопределенности измерений по разделу 8 следует проводить по результатам многократных измерений, которые необходимы из-за неоднородности эталона, вариации, свойственной измерительной процедуре, и воспроизводимости результатов измерений непосредственно измерительным прибором;
- условия калибровки прибора должны быть аналогичны условиям калибровки эталона;
- процедура обработки результатов измерений (т. е. метод наименьших квадратов, минимальная зона и т. д.) должна быть аналогична процедуре обработки результатов измерений при калибровке эталона.

7.4 Оценка остаточного профиля

Ощупывают оптическую пластину. Определяют остаточный профиль и вычисляют параметры поверхности Pt и Pq (среднеквадратическое отклонение ординат профиля).

При калибровке прибора по эталону шероховатости соблюдают условия, требуемые для данной процедуры. Например, отсечка шага должна быть λ_B = 0,8 мм, соотношение отсечек шага 300:1, общая длина оценки 4 мм.

Измеренные значения Ra и Rz указывают в сертификате калибровки на эталон.

7.5 Калибровка вертикальной составляющей профиля

7.5.1 Общие указания

Измеряют высоту неровностей эталона.

Определяют отклонения измеренных значений высот неровностей эталона от значений, указанных в сертификате калибровки на эталон.

7.5.2 Процедура

Измеряют неровности в рабочей зоне эталона (см. рисунок 1) в соответствии с методикой калибровки эталона высоты неровностей. Определяют отклонения среднего значения высот, полученных по измеренным значениям, от значений, приведенных в сертификате калибровки на эталон.

Примечание — При отсутствии эталона высоты неровностей притирают две концевые меры, измеряют высоту каждой от общего профиля и сравнивают полученные значения со значениями, указанными в сертификате калибровки на концевые меры. Определяют разность высот притертых мер.

7.6 Калибровка горизонтальной составляющей профиля

7.6.1 Общие указания

Ощупывают эталон шага неровностей. Определяют отклонения значений параметров, характеризующих длину волны, от значений, указанных в сертификате калибровки на эталон.

7.6.2 Процедура

Трассы измерений располагают вдоль измеряемой поверхности, пример расположения трасс измерений приведен на рисунке 2. Измеряют на эталоне шага неровностей и рассчитывают средний шаг неровностей профиля RSm. Определяют отклонение среднего шага неровностей профиля RSm от значения, указанного в сертификате калибровки на эталон.

7.7 Калибровка системы координат профиля

7.7.1 Общие указания

Ощупывают наклонные поверхности оптической пластины. Измеряют полную высоту исходного профиля Pt, характеризующую отклонение от формы профиля меры, определенной по методу наименьших квадратов.

7.7.2 Процедура

Измерения выполняют на каждой наклонной поверхности эталона, используя длину ощупывания и номинальный угол наклона, которые указаны в сертификате калибровки на эталон. Трассы измерений располагают на поверхности эталона в соответствии с рисунком 3. Рассчитывают высоту и среднеарифметическое значение угла наклона профиля относительно линии, проведенной по методу наименьших квадратов.

Ощупывают эталон координат профиля. Определяют значение полной высоты исходного профиля Pt после выделения номинальной формы профиля по методу наименьших квадратов.

7.8 Калибровка прибора в целом

7.8.1 Общие указания

Ощупывают эталон шероховатости. Определяют соответствующие отклонения значений параметров шероховатости от значений, указанных в сертификате калибровки на эталон.

7.8.2 Процедура

Измеряют параметры шероховатости на каждом эталоне шероховатости, располагая участки измерений по всей поверхности. Схема измерений приведена на рисунке 4.

Вычисляют среднеарифметическое значение каждого параметра шероховатости и отклонения от значений, указанных в сертификате калибровки на эталоны.

8 Неопределенность измерений

8.1 Информация из сертификата калибровки эталона

Сертификат калибровки эталона должен содержать следующую информацию:

- полный набор метрологических характеристик (включая, при необходимости, схему измерений, полосу пропускания фильтров, типы фильтров, отсечки шагов и т. д.);
- неопределенность u_{ct} указанных значений метрологических характеристик с используемым коэффициентом доверительной вероятности (см. [2]);
- оценку стандартной неопределенности u_i колебания метрологической характеристики на участке, используемом для калибровки (окно измерений);
- сведения о том, каким образом оценка стандартной неопределенности u_i была включена в расчет неопределенности u_{ct}.

8.2 Неопределенность измеренных значений при калибровке прибора с помощью эталона

Неопределенность измеренных значений, полученных при калибровке, оценивают в соответствии с [2].

Расширенная неопределенность U калибруемой метрологической характеристики включает в себя составляющие $u(q)$ и u_a:

- $u(q)$ — оценка стандартной неопределенности прибора;
- u_a — неопределенность компенсации систематических погрешностей метрологических характеристик, оцененная в соответствии с [2].

Расширенная неопределенность выражается формулой

$$U = k\sqrt{u^2(q) + u_a^2},$$

где k — коэффициент, характеризующий доверительную вероятность.

При вычислении неопределенности следует иметь в виду, что поверхность эталона шероховатости или высота ступеньки не является совершенно однородной, поэтому результаты измерений имеют рассеяние. Этот фактор отражен в случайной составляющей неопределенности измерений, рассчитываемой из оценки стандартной неопределенности. Случайная составляющая эталона шероховатости уже включена в неопределенность U эталона шероховатости, и ее не добавляют к составляющей $u(q)$.

Для иллюстрации в приложении А приведен пример, использующий такой расчет неопределенности калибровки.

Руководство по расчету неопределенности значений приведено в [2].

9 Сертификат калибровки прибора

Сертификат калибровки прибора должен содержать следующую информацию:

- данные об изготовителе, типе, серийном номере прибора в сборе;
- идентификационные номера используемых эталонов;
- ссылку на методику калибровку;
- перечень соответствующих условий измерений (диапазон измерений, скорость перемещения, длина ощупывания, полоса пропускания, радиус щупа и т. д.);
- результаты измерений остаточного профиля, полученные при использовании оптической пластины;
- результаты измерений, полученные при использовании эталона высоты неровностей и эталона шага, и отклонения от соответствующих значений метрологических характеристик;
- результаты измерений, полученные при использовании наклонной оптической пластины и Pt относительно прямой, проведенной по методу наименьших квадратов;
- результаты измерений при применении эталона координат профиля и Pt относительно номинальной формы, выделенной по методу наименьших квадратов;
- данные о месте измерений и условиях окружающей среды, влияющих на результат калибровки. Эта информация должна содержаться в инструкции изготовителя прибора и поставщика эталона.

Расширенная неопределенность измерения и документация по неопределенности должны быть представлены с учетом [2].

Приложение А
(рекомендуемое)

Пример расчета неопределенности калибровки прибора по эталону шероховатости по параметру Ra

Эталон шероховатости оценивают по параметру Ra пять раз в соответствии со схемой измерений в 12 положениях, приведенных на рисунке 4.

В таблице А.1 приведены единичные значения измеренного параметра Ra.

Примечание — Значения смоделированы для иллюстрации использования статистических методов.

Таблица А.1 — Единичные значения Ra, полученные в соответствии со схемой измерений (рисунок 4)

Номер единичного значения Ra, мкм	Трасса оценки					
	1	2	3	4	5	6
1	0,5247	0,5261	0,5229	0,5252	0,5287	0,52552
2	0,5240	0,5283	0,5266	0,5323	0,5260	0,52744
3	0,5330	0,5332	0,5286	0,5319	0,5309	0,53152
4	0,5311	0,5342	0,5306	0,5334	0,5313	0,53212
5	0,5216	0,5204	0,5221	0,5262	0,5200	0,52206
6	0,5272	0,5285	0,5291	0,5254	0,5266	0,52736
7	0,5256	0,5340	0,5295	0,5332	0,5291	0,53028
8	0,5346	0,5304	0,5338	0,5362	0,5327	0,53354
9	0,5191	0,5207	0,5232	0,5262	0,5262	0,52308
10	0,5247	0,5303	0,5315	0,5295	0,5246	0,52812
11	0,5328	0,5307	0,5301	0,5310	0,5279	0,53050
12	0,5347	0,5339	0,5286	0,5384	0,5317	0,53346
Среднее	0,52776	0,52922	0,52805	0,53074	0,52798	0,52875

Случайные воздействия, влияющие на наблюдаемую вариацию:

а) вариация значений Ra, присущая эталону шероховатости;

б) вариация значений Ra, обусловленная многократными измерениями;

в) сходимость результатов измерений для контактного (щупового) прибора.

Предполагают, что каждое из этих случайных влияний должно ассоциироваться с его неизвестной дисперсией, обозначенной σ^2_R, σ^2_E, σ^2_M соответственно, где индекс R указывает на эталон шероховатости (дисперсия эталона шероховатости); индекс E указывает на влияние длины оценки (различие между участками оценки); и индекс M указывает на контактный (щуповой) прибор [сходимость результатов измерений, присущая контактному (щуповому) прибору)].

Допускают, что X_{ij} — это i-е значение на j-й длине оценки. Среднеарифметические значения $\overline{X}_i$, $\overline{X}_j$, $\overline{X}$ рассчитывают по формулам:

$$\overline{X}_i = \frac{1}{12}\sum_{j=1}^{12} X_{ij};$$

$$\overline{X}_j = \frac{1}{5}\sum_{i=2}^{5} X_{ij};$$

$$\overline{X} = \frac{1}{60}\sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{12} X_{ij}.$$

С этими значениями связаны суммы квадратов S_1, S_2, S_3 и S_4, которые рассчитывают по формулам:

$$S_1 = 60\bar{X}^2;$$

$$S_2 = 5\sum_{i=1}^{12}(\bar{X}_i - \bar{X})^2;$$

$$S_3 = 12\sum_{j=1}^{5}(\bar{X}_j - \bar{X})^2;$$

$$S_4 = \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5}(X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j - \bar{X})^2.$$

Результаты расчета приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Результаты расчета

Источник вариации	Сумма квадратов S_l	Число степеней свободы V_l	Среднеквадратичное отклонение (СКО) $M_l = \frac{S_l}{\nu_l}$	Вариация, определенная по СКО
Среднее значение	S_1 = 16,77459375	1	M_1 = 16,77459375	—
Неоднородность эталона	S_2 = 0,000804725	11	M_2 = 7,3156818e-5	$\sigma_M^2 + 5\sigma_R^2$
Различие между длинами оценки	S_3 = 0,000075196	4	M_3 = 1,8799000e-5	$\sigma_M^2 + 12\sigma_E^2$
Сходимость прибора	S_4 = 0,000252648	44	M_4 = 0,5742000e-5	σ_M^2

Значения оценок σ_R^2, σ_E^2, σ_M^2 получены из S_R^2, S_E^2, S_M^2 соответственно (см. последнюю колонку таблицы А.2):

$$S_R^2 = \frac{(M_2 - M_4)^2}{5};\ S_R = 3{,}67 \text{ нм};$$

$$S_E^2 = \frac{(M_3 - M_4)^2}{12};\ S_E = 1{,}04 \text{ нм};$$

$$S_M^2 = M_4;\ S_M = 2{,}40 \text{ нм}.$$

Число степеней свободы S_M^2, равное 44, является числом степеней свободы M_4. Степени свободы S_R^2 и S_E^2 являющиеся эффективными степенями свободы $(M_2 - M_4)^2$ и $(M_3 - M_4)^2$ соответственно, могут быть оценены по формуле Велч-Саттервейт (см. [3]).

$$\nu_{eff}(S_R^2) = \frac{(M_2 - M_4)^2}{\frac{M_2^2}{11} + \frac{M_4^2}{44}} = 9{,}3;$$

$$\nu_{eff}(S_E^2) = \frac{(M_3 - M_4)^2}{\frac{M_3^2}{4} + \frac{M_4^2}{44}} = 1{,}9.$$

В сертификате калибровки номинальное значение Ra = 0,5294 мкм приведено с неопределенностью 4 %. Если 4 % — это цифра с плюсом и с минусом, то результаты имеют прямоугольное (равномерное) распределение, что дает оценку стандартной неопределенности

$$U_{cal} = \frac{0{,}5294 \text{ мкм} \cdot 4\ \%}{\sqrt{3}} = 12{,}2 \text{ нм}.$$

Суммарная стандартная неопределенность

$$U_c = \sqrt{S_E^2 + S_M^2 + U_{cal}^2} = 12{,}5 \text{ нм},$$

где U_{cal} — стандартная неопределенность.

Расширенную неопределенность вычисляют по формуле, где $k = 2$,

$$U = kU_c = 2 \cdot 12{,}5 \text{ нм} = 25 \text{ нм}.$$

Примечание — Приведенный пример чисто иллюстративный; рассчитанную неопределенность не следует принимать как типичную.

Библиография

[1] РМГ 29—99[1)] Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

[2] ИСО 5436-1:2000 (ISO 5436-1:2000) Геометрические параметры продукции (ГПП). Текстура поверхности: профильный метод. Эталоны. Часть 1. Материальные меры (Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method; Measurement standards — Part 1: Material measures)

[3] GUM:1995 Руководство по экспресс-определению неопределенности измерений (Guide to the expression of uncertainty in measurement)

[1)] Заменен на РМГ 29—2013.

УДК 531.717.8:006.354 ОКС 17.020 Т88.1

Ключевые слова: контактные приборы, шероховатость поверхности, поверка, калибровка

Редактор *Е.В. Яковлева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 04.03.2019. Подписано в печать 21.03.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,00.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru