

**Кравченко Е. Г., Алтухова В. В., Серёдкина Е. А., Гамаюнова А. С.**  
**E. G. Kravchenko, V. V. Altukhova, E. A. Seredkina, A. S. Gamaiunova**

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

### **ESTIMATION OF THE ACCURACY OF CONTROL OF THE SURFACE ROUGHNESS OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS**

**Кравченко Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ek74@list.ru.

**Elena G. Kravchenko** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ek74@list.ru.

**Алтухова Виктория Викторовна** – старший преподаватель кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: zhizn-vita@bk.ru.

**Viktoriya V. Altukhova** – Senior Lecturer, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: zhizn-vita@bk.ru.

**Серёдкина Елизавета Алексеевна** – инженер-конструктор филиала ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ имени Ю. А. Гагарина» (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Elizaveta A. Seredkina** – Design Engineer, the Branch of PJSC Sukhoi Company Komsomolsk-on-Amur Aircraft Plant named after Yuri A. Gagarin (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Гамаюнова Александра Сергеевна** – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Aleksandra S. Gamaiunova** – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Аннотация.** На современном машиностроительном производстве точность оценки параметров шероховатости является неотъемлемой частью контроля качества изделий машиностроения. В этой связи повышение точности измерения шероховатости поверхности становится важной производственной задачей. Измерения параметров шероховатости не позволяют получать их истинные значения. Для этого вместе с полученным результатом измерения необходимо указывать погрешность измерения. Неопределённость, в отличие от погрешности, имеет прогрессирующий характер и применяется как оценка достоверности результатов измерений. При внедрении неопределённости измерения в поверку прибора для измерения шероховатости можно повысить точность измерения и, как следствие, улучшить эксплуатационные показатели изделий. Основные положения предложенного исследования могут быть взяты за основу разработки метрологических рекомендаций для заводских лабораторий, которые должны оценивать точность измерений.

**Summary.** In modern machine-building production, the accuracy of estimation of roughness parameters is an integral part of quality control of machine-building products. In this regard, improving the accuracy of surface roughness measurement becomes an important manufacturing task. By measuring any physical quantity, we do not want to get its true values, so it is necessary to indicate how close the result is to the true value, i.e. indicate the accuracy of the measurement. To do this, the approximate measurement error (error) is indicated together with the semi-final result. Uncertainty, unlike error, is progressive and is used as an assessment of the reliability of measurement results. With the introduction of measurement uncertainty in the verification of the roughness measuring device, it is possible to improve the measurement accuracy and, as a result, improve the performance of the products. The main provisions of the proposed study may form the basis for the development of metrological recommendations for factory laboratories, which should assess the accuracy of measurements.

**Ключевые слова:** изделия машиностроительного производства, параметры шероховатости, точность измерения, профилометр, неопределённость измерения.

**Key words:** machine-building products, roughness parameters, measurement accuracy, profilometer, measurement uncertainty.

УДК 620.179

**Введение.** Режущие инструменты после механической обработки поверхностей деталей общего машиностроения оставляют на их поверхности ряд микронеровностей. Именно они и образуют шероховатость представленной к контролю поверхности.

Шероховатость поверхности – это следствие технологической обработки поверхности материала. Для большинства поверхностей изделий машиностроения характерны следующие параметры: горизонтальный шаг неровностей 1...1000 мкм; высота 0,01...10 мкм.

Данная информация необходима конструкторам и технологам, чтобы правильно выбрать номенклатуру параметров и назначить их числовые значения, которые в дальнейшем должны быть обеспечены в процессе изготовления поверхности. Таким образом, большинство стандартных параметров шероховатости поверхности описывает разнообразное множество поверхностей и, следовательно, является востребованным в производстве [9-11].

Как видим, шероховатость поверхности в значительной степени оказывает влияние на эксплуатационные параметры изделий машиностроения, поэтому повышение точности её измерения в настоящее время считается одной из центральных задач современного машиностроения.

**Понятие «неопределённость измерения».** Новая концепция оценки точности измерений была определена в 1997 г. при разработке и опубликовании от имени семи международных организаций по стандартизации нового нормативного документа – «Руководства по выражению неопределённости измерения», регламентированного ГОСТ Р 54500.3.2-2013 [3].

Согласно терминам, приведённым в указанном стандарте [3], неопределённость измерений определяется как «... неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации».

На основании анализа, приведённого в [2–5], можно сделать выводы, что неопределённость измерения:

- определяет степень доверия к результатам измерения;
- как и погрешность измерения, является количественной характеристикой точности;
- позволяет сравнивать результаты измерений физических величин между собой, а также с эталонными значениями.

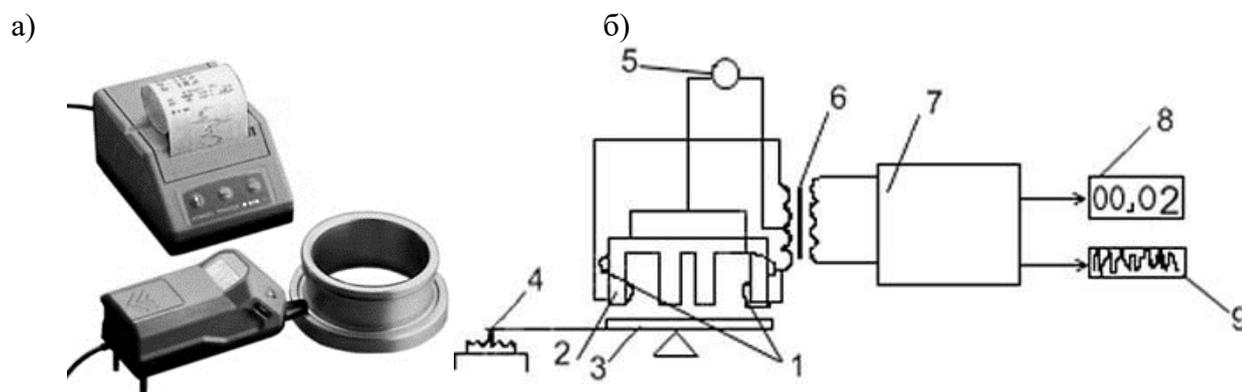
Основные понятия в области неопределённости измерения широко представлены в литературных источниках [1–5]. Однако следует отметить разницу между терминами «погрешность измерения» и «неопределённость измерения»:

- термин «погрешность измерения» применяется к истинному значению физической величины, которое неизвестно, а «неопределённость измерения» – к действительному значению, полученному экспериментальным путём и являющемуся результатом измерения;
- «погрешность измерения» является мерой точности конкретного результата измерения, проведённого известным измерительным средством, а «неопределённость измерения» – это степень сомнения в истинности результата измерения физической величины.

**Объектом исследования** был выбран профилометр Hommel Tester T500, применяемый в производственном процессе лабораторий линейно-угловых измерений большинства машиностроительных предприятий. Общий вид и схема портативного мобильного полуавтоматического многофункционального прибора для контроля шероховатости поверхности представлены на рис. 1.

**Принцип действия и технические характеристики профилометра.** В состав магнитного блока датчика входит сердечник 2 с двумя катушками 1 (см. рис. 1). Балансный мост, состоящий из катушки 1 и дифференциального входного трансформатора 6, питается от генератора звуковой частоты 5. В процессе ощупывания исследуемой поверхности датчик с алмазной иглой 4 перемещается, приводя в колебательное движение коромысло 3. При этом на выходе дифференциального трансформатора происходит пропорциональное изменение напряжения как результат изменения

зазора между сердечником и якорем. После усиления посредством электронного блока 7 напряжение интегрируется и выдается в виде некоторого усреднённого параметра, который и является количественной характеристикой микронеровностей исследуемой поверхности. Полученная информация отображается на показывающем устройстве 8 или записывающем приборе 9, которые подключены к выходу электронного блока 7.



1 – катушки; 2 – сердечник; 3 – коромысло; 4 – алмазная игла;  
 5 – генератор звуковой частоты; 6 – трансформатор входной дифференциальный;  
 7 – блок электронный; 8 – устройство показывающее; 9 – записывающее устройство

Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) профилометра Hommel Tester T500

Основные параметры и технические характеристики профилометра Hommel Tester T500, служащие исходными данными для оценивания неопределённости измерения, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры профилометра Hommel Tester T500

Измеряемые параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73	$Ra, Rz, Rmax, S, Sm, Tr$			
Класс точности	1			
Предел измерения	МВ	Диапазон, мкм	Разрешение, нм	
	1	+20...-20	10	
		+20...-60	20	
	2	+40...-40	20	
+40...-120		40		
Скорость щупа	$Vt, \text{мм/с}$	0,15	0,5	1,0
Длина трассы	$Lm, \text{мм}$	1,25	4,0	12,5
	$Lt, \text{мм}$	1,5	4,8	15
Отсечка шага	$Lc, \text{мм}$	0,25	0,8	2,5
Предел допускаемой основной погрешности (по параметру $Ra$ )	5 %			
Точность отображения значений	0,001 мм			

**Методика оценки неопределённости измерения.** В основе существующих методов оценки неопределённости измерения, как и определения характеристик погрешности измерения, лежат положения теории вероятности, а также аппарат математической статистики. Однако методы оценивания неопределённости измерения могут базироваться на различных законах распределения вероятностей случайных величин.

Оценивание неопределённости измерения параметров шероховатости на профилометре Hommel Tester T500 необходимо выполнять на основании рекомендаций методики, приведённой в [7; 8]. Рассмотрим её основные этапы.

*1-й этап. Определение уравнения измерения.*

В теории неопределённости за уравнение измерения, опираясь на классический подход теории погрешностей, можно принять зависимость между измеряемой величиной и величинами, влияющими на результаты измерения:

$$Y = f(x_1, x_2 \dots x_n, x_{n+1}, x_{n+2} \dots x_m),$$

где  $Y$  – величина выходная;  $x_1, x_2, x_n$  – величины входные;  $x_{n+1}, x_{n+2}, x_m$  – факторы (величины), влияющие на результат измерения.

*2-й этап. Оценка входной величины.*

Наилучшей оценкой входной величины является среднее арифметическое из ряда равно-точных измерений, взятое при нормальном законе распределения вероятности:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq},$$

где  $\bar{X}_i$  – входная величина,  $i = 1 \dots m$ .

*3-й этап. Определение стандартной неопределённости по типу А.*

Определение стандартной неопределённости по типу А производится по формуле

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2},$$

где  $\bar{x}_i$  – оценка среднего арифметического значения от  $i$ -х входных величин.

*4-й этап. Определение стандартной неопределённости (по типу В).*

Вычисление стандартной неопределённости (по типу В) основывается на следующей априорной информации:

- результатах предыдущих измерений величин;
- данных о приборе и сведениях по поверке;
- сведениях о предполагаемом вероятностном распределении значений величин;
- нормах точности измерений (указываются в технической документации на средство измерения);
- неопределённости используемых справочных данных и констант;
- сведениях об источниках неопределённости, влияющих на результат измерения.

Стандартная неопределённость (по типу В) в указанных границах определяется по формуле

$$U_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}},$$

где  $b_{i+}, b_{i-}$  – соответственно верхняя и нижняя границы отклонения измеряемой величины от результата измерений.

Если границы симметричны  $b_i = b_{i+} - b_{i-}$ , то неопределённость измерения вычисляется по формуле

$$U_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}},$$

где  $b_i$  – симметричные границы отклонения.

5-й этап. Оценка выходной величины.

Для вычисления выходной величины  $Y$  на входные величины  $x_1 \dots x_m$  заблаговременно необходимо внести поправки – известные неопределённости, имеющие систематический характер.

Выходная величина (стандартная неопределённость) определяется:

- при некоррелированных оценках входных величин:

$$U_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)};$$

- для коррелированных оценок входных величин:

$$U_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i x_j) u(x_i) u(x_j)},$$

где  $\frac{\partial f}{\partial x_i}, \frac{\partial f}{\partial x_j}$  – коэффициенты чувствительности входных величин ( $i$ -х и  $j$ -х соответственно) относительно выходной  $Y$ ;  $r(x_i x_j)$  – коэффициент корреляции оценок входных величин;  $u(x_i), u(x_j)$  – стандартные неопределённости при оценке  $i$ -й и  $j$ -й входных величин соответственно.

6-й этап. Оценка расширенной неопределённости.

Оценивание расширенной неопределённости производится по формуле

$$U(Y) = k \cdot u(y),$$

где  $k$  – коэффициент охвата.

Число степеней свободы определяется по формуле Велча-Саттерстейта [5]:

$$V_{aff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^4 \frac{u^4(x_i)}{v_i}}$$

Коэффициента охвата

$$k = t_p(v_{aff}),$$

где  $V_{aff}$  – эффективное число степеней свободы;  $v_i$  – число степеней свободы при вычислении неопределённости оценки  $i$ -й входной величины;  $t_p$  – коэффициент Стьюдента (для принятой доверительной вероятности  $P = 0,95$ ).

Число степеней свободы принимаем:

$v_i = n_i - 1$  – для оценки неопределённости (по типу А);

$v_i = \infty$  – для оценки неопределённости (по типу В).

7-й этап. Запись полного результата измерений.

При записи полного результата измерений необходимо указать результаты расчётов следующих параметров неопределённости:

– данных входных величин –  $u_i$ ;

– неопределённости суммарной –  $U_c$ ;

– неопределённости расширенной –  $U$ ;

– эффективного числа степеней свободы –  $V_{aff}$ ;

– коэффициента охвата –  $k$ .

**Оценка неопределённости измерения параметров шероховатости профилометром Hommel Tester T500.** Рассмотренный в исследовании подход для оценки неопределённости измерения принимает во внимание только те неопределённости, которые связаны с показаниями про-

филометра при учёте мер шероховатости и отражают совместное влияние всех отдельно взятых погрешностей.

Алгоритм вычисления неопределённости измерения параметров шероховатости профилометром Hommel Tester T500:

1. Оценка отклонения профилометра проводится на основе измерений по мере шероховатости. Для этого необходимо определить следующие параметры:

- точность параметра, присвоенного мере шероховатости при калибровке;
- среднее арифметическое значение результатов 25 измерений параметра шероховатости при контроле профилометра по мере шероховатости;
- отклонение профилометра следует учитывать при оценке неопределённости измерения каждым из рассмотренных ниже методов.

По типу А вычисляется неопределённость измерений, учитывающая систематическое отклонение профилометра двумя различными способами.

Расчёт неопределённости измерения по типу В позволяет находить значение неопределённости без учёта систематического отклонения.

2. Неопределённость по типу А. Стандартная неопределённость шероховатости по типу А, обусловленная источниками неопределённости, имеющими случайный характер, определяется по формуле

$$U_A(Ra) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ra_i - \bar{Ra})^2}{n(n-1)}}$$

где  $Ra$  – среднее арифметическое отклонение профиля;  $n$  – количество измерений.

3. Неопределённость по типу В. Неопределённость измерений по типу В вычисляют для симметричных границ:

$$U_B(Ra) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}$$

4. Оценка суммарной и расширенной неопределённости.

Суммарная стандартная неопределённость вычисляется по формуле

$$U_C(Ra) = \sqrt{U_A^2(Ra) + U_B^2(Ra)}$$

Расширенная неопределённость вычисляется по формуле

$$U(Ra) = kU_C(Ra),$$

где  $k$  – коэффициент охвата, равный 2 при нормальном распределении  $P = 0,95$ .

**Представление результата измерения.** Для практической реализации представленной методики в качестве исходных данных для анализа были приняты значения характеристик мер шероховатости и параметры для анализа мер шероховатости, представленные в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Характеристики меры шероховатости

Параметр	Фильтр	Действительное значение, мкм	Расширенная неопределённость измерений, мкм
$Ra$	Гауссовский	3,03	0,03

Таблица 3

Параметры анализа меры шероховатости

Параметры анализа	
Отсечка шага, $I_c$	0,25 мм
Отсечка шага, $I_s$	0,0025 мм

В качестве параметров для контроля шероховатости было принято среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$ , значения которого после обработки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры шероховатости мер шероховатости

Фильтр Гаусса										
$Ra$ , мкм	3,00	3,02	3,02	3,02	3,03	3,04	3,03	3,05	3,05	3,04
Среднее значение параметра $Ra$ , мкм					3,03					
Среднее квадратическое отклонение					0,015 мкм			0,49 %		

Неопределённость измерений вычисляется по формулам, представленным выше.

Неопределённость по типу А:  $U_A(Ra) = 0,0005$  мкм;

Неопределённость по типу В:  $U_B(Ra) = 0,013$  мкм;

Суммарная неопределённость:  $U_C(Ra) = 0,014$  мкм;

Расширенная неопределённость:  $U(Ra) = 0,028$  мкм.

По полученным результатам делаем вывод, что данные меры могут быть использованы в качестве эталона 1-го разряда в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.296-2015.

Обработка результатов измерений на профилометре Hommel Tester T500 приведена в табл. 5.

Таблица 5

Результаты измерения профилометром Hommel Tester T500

Номер измерения	$Ra$ , мкм	Среднее значение параметра $Ra$ , мкм	Среднее квадратическое отклонение	
			$S$ , мкм	$S_{отн}$ , %
1	3,03	2,97	0,05	1,68
2	3,01			
3	2,98			
4	2,95			
5	2,93			
6	2,85			
7	2,96			
8	3,01			
9	3,01			
10	3,02			
11	2,95			
12	2,94			
13	3,03			
14	3,01			
15	2,98			
16	2,95			
17	2,93			
18	2,85			
19	2,96			
20	3,01			
21	3,01			
22	3,02			
23	2,95			
24	2,95			
25	2,95			

Оценка  $S$  стандартного отклонения полученных значений параметров

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ra_i - \bar{Ra})^2}{n - 1}},$$

$$S_{\text{отн}} = \frac{S}{R} 100.$$

Получаем  $S = 0,05$  мкм или  $S_{\text{отн}} = 1,68$  %.

Определение средних из измеренных значений параметров ( $\bar{Ra}$ ) и отклонения этих средних от значений, указанных в сертификате на образцовую меру ( $Ra_{\text{ат}}$ ) для каждого из параметров, производится по формуле

$$\delta_{\text{сист}} = \frac{Ra_{\text{ат}} - \bar{Ra}}{Ra_{\text{ат}}} 100\%, \quad \delta_{\text{сист}} = 1,98 \text{ \%}.$$

Неопределённость по типу А:  $U_A(Ra) = 0,01$  мкм; неопределённость по типу В:  $U_B(Ra) = 0,03$  мкм; суммарная неопределённость:  $U_C(Ra) = 0,03$  мкм; расширенная неопределённость:  $U(Ra) = 0,06$  мкм.

Смысл учёта неопределённости при измерении параметров шероховатости поясняется схемой на рис. 2.

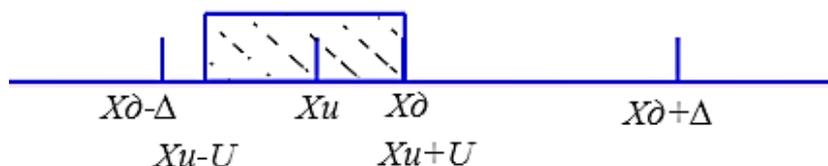


Рис. 2. Схема учёта неопределённости при поверке средства измерения

Условные обозначения на рис. 2:

Значение  $Xд = 3,03$  – это действительное значение (эталоны);  $Xu = 2,97$  – показания профилометра (номинальное значение);  $U$  – расширенная неопределённость;  $\Delta$  – пределы допускаемой погрешности профилометра по параметру  $Ra$  (из паспорта на средство измерения).

Основные выводы о годности профилометра, сделанные на основании проведённого анализа, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Условия годности прибора по характеристикам точности измерения

Формула	Результат
$\left. \begin{array}{l} S \text{ и (или) } S_{\text{отн}} \\ \frac{\delta_{\text{сист}}}{100 \%} \end{array} \right\} \leq \Delta_{\text{пр}}$	$\left. \begin{array}{l} 0,05 \\ 0,02 \end{array} \right\} \leq 0,15$
$U \leq \frac{1}{3} \Delta_{\text{пр}} - \text{пренебрегаем}$	$0,06 \leq 0,05 - \text{не пренебрегаем}$
$S \leq \sqrt{(\Delta_{\text{пр}}^2 - U^2)}$	$0,05 \leq 0,14$

Примечания:

1. Если расширенная неопределённость измерений  $U$  не превышает  $1/3$  пределов допускаемой погрешности  $\Delta_{\text{пр}}$  средства измерения, то ею пренебрегают.
2. Если погрешность средства измерения  $S$  не превышает квадратного корня из разности квадратов нормы погрешности  $\Delta_{\text{пр}}$  и расширенной неопределённости  $U$  измерения при поверке, то средство измерения считается годным

**Вывод.** По данным результатам поверки профилометра Hommel Tester T500 с учётом неопределённости измерений можно сделать вывод, что данное средство измерения может быть признано как соответствующее установленным метрологическим требованиям точности и пригодное к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Анализ неопределённости измерений является полезным инструментом, направленным на выявление источников ошибок при измерениях. Разработанная методика оценки точности измерения профилометром Hommel Tester T500 с учётом неопределённости измерений была внедрена в производственный процесс лаборатории линейно-угловых измерений Филиала ПАО «Компания “Сухой” “Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю. А. Гагарина”». Основные положения предложенной методики оценки неопределённости измерения могут быть положены в основу разработки метрологических рекомендаций для лабораторий, которые должны оценивать точность измерений основных параметров шероховатости изделий машиностроения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 19300-86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры = Instruments for measurement of surface roughness by the profile method. Contact profilographs and profilometers. Types and main parameters: государственный стандарт СССР: утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 июня 1986 г. № 1821: введён взамен ГОСТ 19299-73 и ГОСТ 19300-73: дата введения 1987-07-01 / разработан Государственным комитетом СССР по стандартам. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 9 с.
2. ГОСТ 34100.3.1-2017. Неопределённость измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло = Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 1. Propagation of distributions using a Monte Carlo method: национальный стандарт Российской Федерации: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1066-ст: введён впервые: дата введения 2018-09-01 / подготовлен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции». – М.: Стандартиформ, 2018. – 84 с.
3. ГОСТ 34100.3.2-2017. Неопределённость измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин = Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 2. Extension to any number of output quantities: национальный стандарт Российской Федерации: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1067-ст: введён впервые: дата введения 2018-09-01 / подготовлен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции». – М.: Стандартиформ, 2015. – 77 с.
4. Ефремов, Н. Ю. Оценка неопределённости в измерениях: практическое пособие / Н. Ю. Ефремов. – Минск: БелГИМ, 2003. – 50 с.
5. Хакимов, О. Ш. Оценка неопределённости измерений: учеб. пособие / О. Ш. Хакимов, В. Б. Латипов. – Ташкент НИИСМС, 2008. – 110 с.
6. Холощак, К. М. Разработка измерительной системы для контроля шероховатости / К. М. Холощак, Е. Г. Кравченко // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3 ч. Ч. 1. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – С. 162-164.
7. Серёдкина, Е. А. Разработка методики поверки профилометра HOMMEL TESTER T500 / Е. А. Серёдкина, Е. Г. Кравченко // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 4 ч. Ч. 1. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2019. – С. 195-197.
8. Серёдкина, Е. А. Анализ методик поверки профилометра с учётом неопределённости измерений / Е. А. Серёдкина, Е. Г. Кравченко // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – С. 154-156.

9. Отряскина, Т. А. Исследование термодинамических процессов при стружкообразовании / Т. А. Отряскина, Е. Г. Кравченко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 85-89.

10. Саблин, П. А. Высота микронеровностей и параметры шероховатости – комплексная оценка качества обработанной поверхности / П. А. Саблин, В. С. Щетинин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 90-94.

11. Космынин, А. В. Обеспечение качества обработки материалов резанием посредством внедрения трансформируемых управляемых звеньев в систему станочных систем / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, П. А. Саблин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № V-1 (45). – С. 115-118.