

## ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАК ГРАФИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ

И. Н. ГИБАДУЛЛИН, В. А. ВАЛЕТОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: gibadullinilur@mail.ru*

Представлен метод оценки и контроля шероховатости поверхности деталей приборов с помощью графических критериев, в частности, метод, использующий в качестве критерия изображения профилей поверхностей. Для реализации метода разработано специальное программное обеспечение, позволяющие качественно оценить степень схожести профилей исследуемых поверхностей. Приведены результаты исследования возможности применения разработанной методики для реальных поверхностей, полученных различными методами обработки.

**Ключевые слова:** шероховатость, функциональные свойства поверхности, контроль шероховатости, профиль поверхности, графические критерии

Проблема оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей приборов для обеспечения их конкретных эксплуатационных свойств является одной из наиболее актуальных и наименее исследованных. Обсуждению этой проблемы в основном и посвящена настоящая статья.

На качество изделий в современном приборостроении влияют множество различных факторов. И если конструкционные материалы деталей и геометрическая точность их изготовления достаточно хорошо изучены и нормированы, то оценка и контроль такого фактора, как шероховатость поверхности деталей остается важной проблемой [1, 2].

Для решения проблемы оптимизации микрогеометрии проф. В. А. Валетовым был предложен „непараметрический метод“ контроля и оценки микрогеометрии поверхности [3, 4]. Суть этого метода заключается в использовании графиков различных статистических функций в качестве критериев контроля и оценки микрогеометрии поверхностей деталей. Это могут быть графики опорных кривых, графические представления функций распределения и плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей или микро топографий [5]. Эффективность оценки микрогеометрии поверхностей по „непараметрическому методу“ доказывается рядом работ [6—10].

Для быстрого, надежного и недорогого контроля микрогеометрии были разработаны и зарегистрированы программные продукты [11, 12] для автоматизированных оценки и контроля микрогеометрии поверхностей с использованием графических критериев. Эти программы и исследования, проводимые с их помощью, описаны в различных работах [6, 8, 13].

Очевидно, что наилучшего описания поверхности можно добиться, используя в качестве критериев графические изображения профилей, а в идеале — изображения микро топографий поверхностей. В этом случае задача сводится к сравнению контролируемых профилей с эталонным. В качестве эталонного выбирается профиль реальной поверхности, микрогеометрия которой в процессе испытаний признана наилучшей из возможных для обеспечения необходимого функционального свойства прибора. Для сравнения профилей разработана программа для платформы .NET Framework 4.5 в среде Microsoft Visual Studio 2015 Community на языке C#. Для отображения профилей исследуемых поверхностей используется пакет ZedGraph версии 5.1.5.

Для сравнения полученных профилей необходимо выполнение следующих условий:

- контролируемый профиль должен быть „длиннее“ эталонного;
- сравниваемые профили должны быть предварительно отфильтрованы для исключения таких факторов, как помехи и погрешности установки;
- у сравниваемых профилей должен быть равный шаг регистрации точек (ординат).

Программный продукт поддерживает наиболее распространенные форматы файлов, такие как asc, xls, txt. [1].

Метод сравнения основан на поиске наибольшего совпадения ординат контролируемого профиля с ординатами эталонного. Сравнение производится по следующему алгоритму:

- 1) начальная точка эталонного профиля совмещается с первой точкой контролируемого;
- 2) в этой позиции подсчитывается количество „попаданий“ точек контролируемого профиля в поле допуска эталона;
- 3) составляется список, в котором указывается данная позиция и процент „попаданий“ точек контролируемого профиля в поле допуска эталона;
- 4) совмещаются первая точка эталонного профиля со следующей ( $i$ -й) точкой контролируемого профиля;
- 5) повторяются пп. 2—4, пока последняя точка эталонного профиля не совпадет с последней точкой контролируемого;
- 6) выводится на экран список с позициями и соответствующими им процентами совпадений.

Результат сравнения для каждой позиции выводится на экран в виде списка. Выбирая определенные позиции в этом списке, можно вывести на экран сравниваемые профили, расположенные в соответствии с выбранной позицией. Это позволяет оценить совпадения профилей на всей „длине“ сравнения.

Для проверки выдвинутого предположения о применении изображений профилей исследуемых поверхностей в качестве графических критериев, а также проверки разработанного программного обеспечения было проведено сравнительное исследование профилей поверхностей, полученных различными методами обработки, такими как точение, фрезерование, гидроабразивная обработка.

Рассмотрим поверхность, полученную точением. Для эксперимента было изготовлено два образца из алюминиевого сплава марки Д16, размеры каждого образца  $\varnothing 28 \times 40$  мм. Образцы обрабатывались на токарном станке с ЧПУ SPINNER PD32-SMC. Параметры обработки: частота вращения шпинделя — 4000 об/мин, подача — 0,08 мм/об, глубина резания — 0,1 мм. Полученные параметры шероховатости: для образца № 1 —  $Ra=0,32$  мкм; для образца № 2 —  $Ra=0,34$  мкм. В данном случае при обработке образцов не ставилась задача получения определенной микрогеометрии, а производилась обычная чистовая обработка для обеспечения точности размера и получения максимально „чистой“ поверхности. Результат сравнения графических критериев оценки шероховатости поверхностей образцов, полученных с помощью программы „Лемминг“, представлен на рис. 1:  $a$  — график плотности распределения ординат профиля;  $H$  — относительная вероятность ординаты,  $Y$  — ордината профиля,  $Rq$  — среднеквадратическое отклонение ординат исходного профиля;  $b$  — график плотности распределения тангенсов местных углов наклона ( $\alpha$ ) профиля; результат сравнения профилей поверхностей образцов, полученный с помощью программного обеспечения (ПО), разработанного И. Н. Гибадуллиним, показан на рис. 1,  $b$ , при этом для удобства сравнения профиль 1-го образца условно принят за эталон, для которого произвольно назначен допуск.

В результате сравнения установлено, что при выбранном поле допуска профили совпадают лишь на 19 %. Естественно, судить о соответствии шероховатости контролируемой поверхности эталонной убедительно можно лишь тогда, когда все точки графического критерия оценки контролируемой поверхности будут находиться в пределах обоснованного ( расчетного)

допуска эталонного критерия. Этот пример показывает, что несмотря на близкие значения параметра шероховатости микрогеометрия образцов заметно отличается.

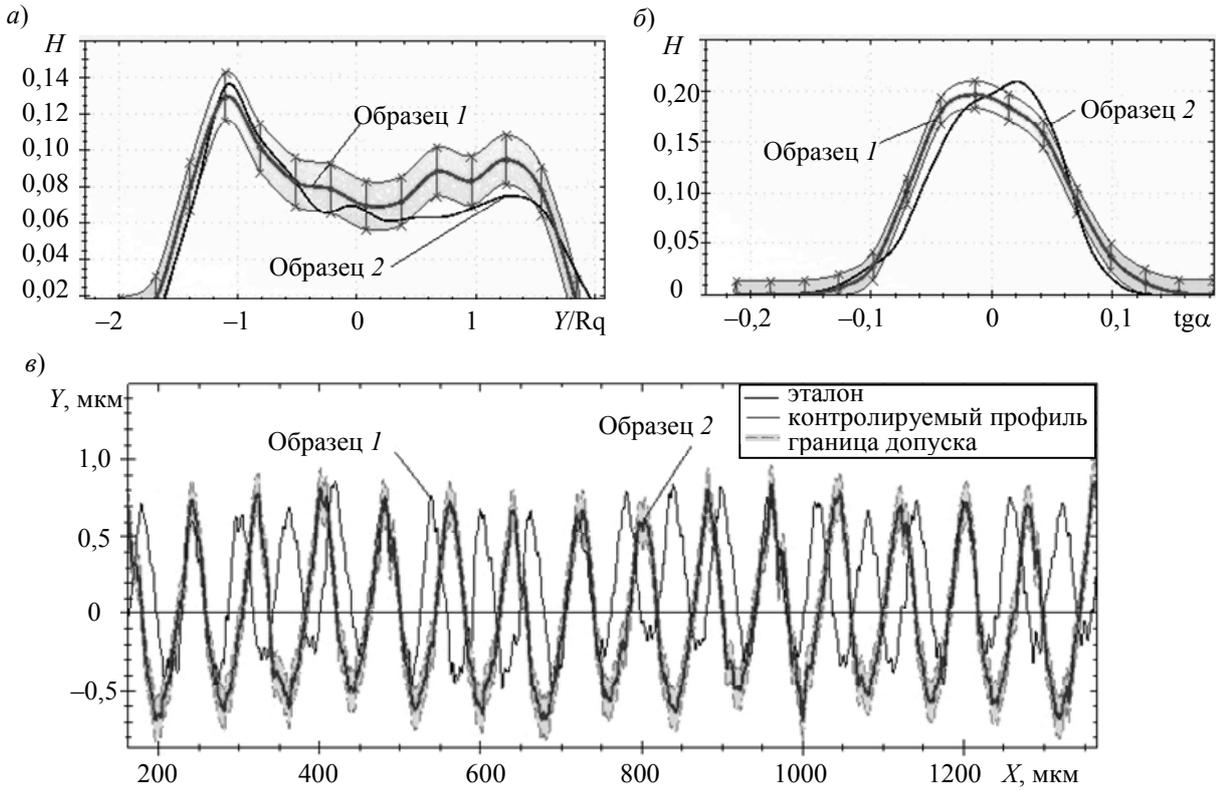


Рис. 1

Далее рассмотрим поверхности, полученные фрезерованием. В данном случае получают две поверхности: боковую и торцевую (получаемая при обработке торцом фрезы). Схема обработки представлена на рис. 2. Для этого эксперимента было изготовлено два образца из алюминиевого деформируемого сплава АМг6, размеры каждого образца  $20 \times 30 \times 40$  мм. Образцы обрабатывались на вертикальном обрабатывающем центре LITZ CV600 концевой фрезой Sandvik 12030-AC22P —  $\varnothing 12$  мм с двумя зубьями. Параметры обработки: частота вращения шпинделя — 8000 об/мин, подача — 1440 мм/мин, глубина резания — 0,3 мм.

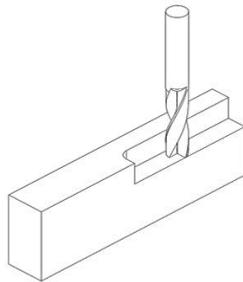


Рис. 2

Вначале рассмотрим боковые поверхности, полученные обработкой цилиндрической поверхностью фрезы. Полученные параметры шероховатости: для образца № 1 —  $Ra=0,35$  мкм; для образца № 2 —  $Ra=0,35$  мкм. На рис. 3, а—в представлены (по аналогии с рис. 1) результаты сравнения графических критериев и график сравнения профилей поверхностей (здесь и на последующих рисунках отражены результаты, полученные, как и ранее для рис. 1, с помощью программы „Лемминг“ и разработанного ПО; кривые, отражающие эталонный и контролируемый профили, а также границу допуска, аналогичны принятым на рис. 1, в). Как и ранее, выбор 1-го образца в качестве эталонного произволен и условен.

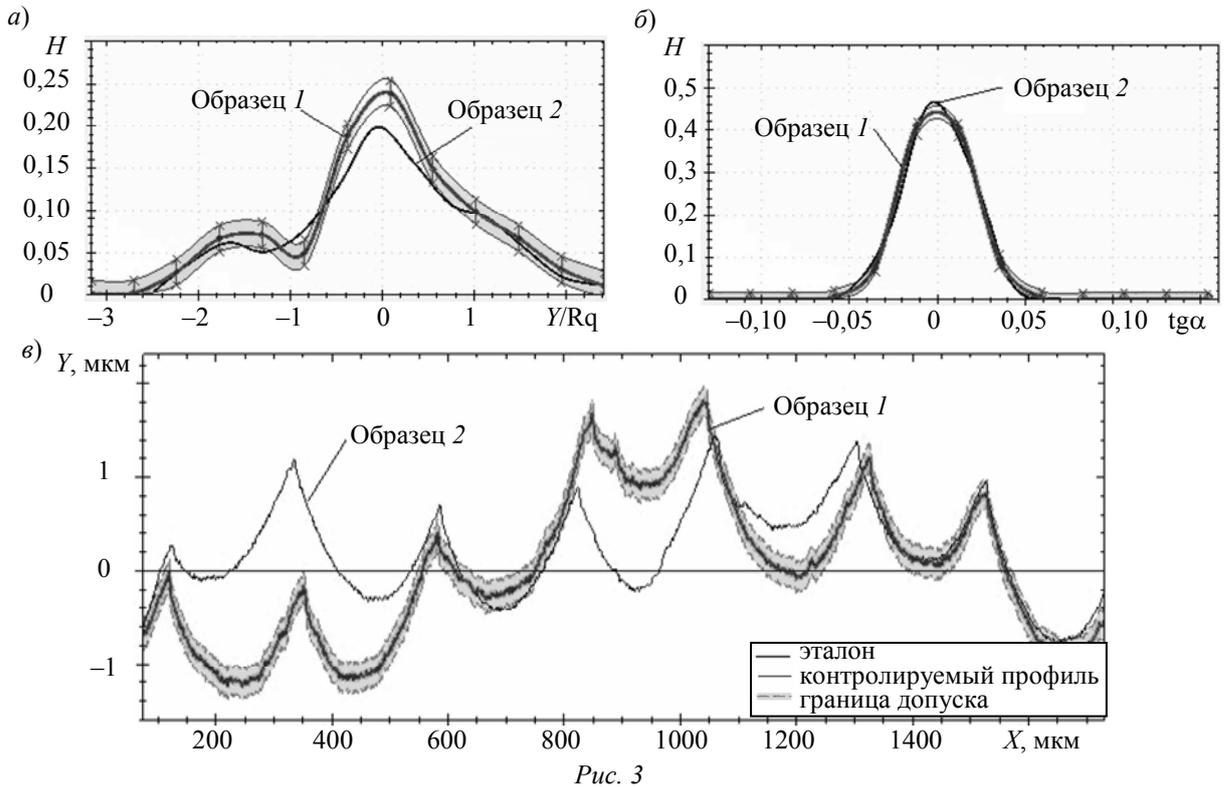


Рис. 3

В результате сравнения установлено, что при условно и произвольно выбранном поле допуска профили совпадают на 39,42 %.

Теперь рассмотрим торцевые поверхности, полученные обработкой торцевой поверхностью фрезы. Полученные параметры шероховатости: для образца № 1 —  $Ra=0,76 \mu\text{m}$ ; для образца № 2 —  $Ra=0,76 \mu\text{m}$ . Результаты сравнения показаны на рис. 4, задаваемое поле допуска аналогично предыдущему случаю. В результате сравнения профилей установлено совпадение на 36,08 %.

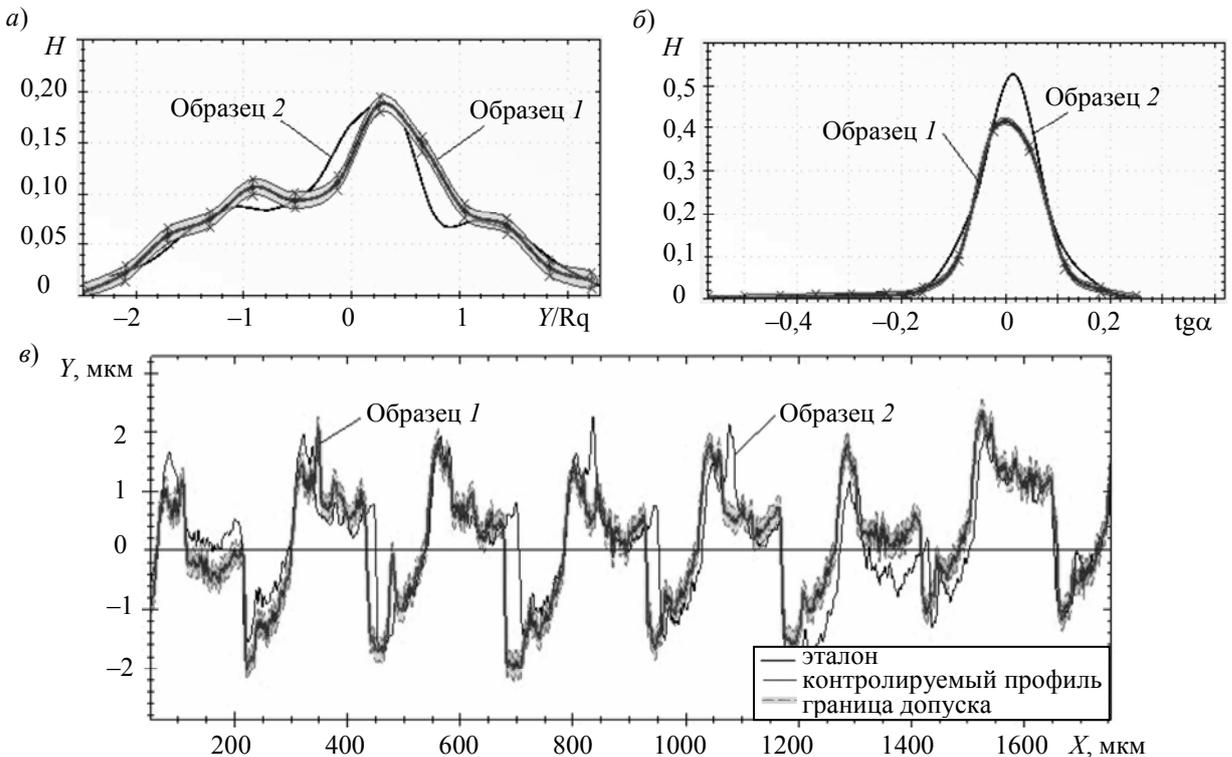


Рис. 4

Представленные методы контроля и оценки микрогеометрии поверхностей показывают, что при практически одинаковых значениях показателя  $R_a$  сравниваемых образцов они заметно отличаются. При этом существенное различие профилей одинаково фрезерованных поверхностей связано с тем, что образуемая при фрезеровании микрогеометрия в большей степени является случайной, а вероятность того, что на случайной поверхности удастся получить одинаковые профили, ничтожно мала. Для контроля таких поверхностей наилучшим будет метод, основанный на статистическом анализе профилей, а лучше топографии поверхности, с использованием предложенных графических критериев.

Наконец рассмотрим поверхности, полученные гидроабразивной резкой. В качестве материала образцов использовалась нержавеющая сталь 12Х18Н10Т. Было изготовлено два образца по одной технологии. Измеренные параметры шероховатости: для образца № 1 —  $R_a=3,77$  мкм; для образца № 2 —  $R_a=3,76$  мкм. В результате сравнения профилей (рис. 5) установлено, что при выбранном поле допуска профили совпадают лишь на 42,38 %.

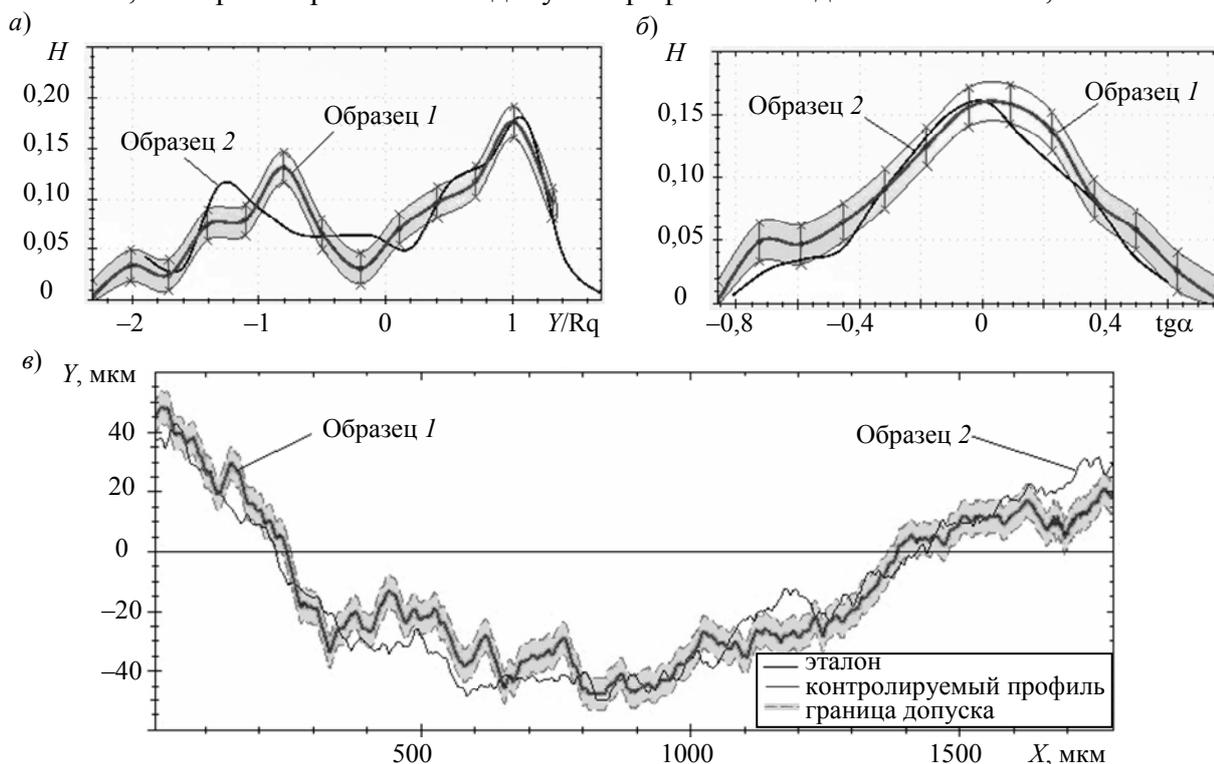


Рис. 5

Графические изображения различных функций несут в себе гораздо больше информации, чем любой из нормируемых параметров. Таким образом, целесообразно для оценки и контроля шероховатости профиля поверхности использовать различные его статистические представления, а самое лучшее — топографию контролируемой и эталонной поверхностей.

В статье представлены результаты исследования возможности использования в качестве критерия оценки и контроля микрогеометрии поверхности деталей графического изображения самого профиля, что предложено впервые. Исследования показали, что профили поверхностей, как реализации случайных функций, существенно отличаются друг от друга даже при одинаковых значениях  $R_a$ . Это доказывает, что для точной оценки шероховатости поверхности ее профиль не пригоден и необходимо разрабатывать прибор для компьютерного сравнения топографии поверхностей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валетов В. А., Гибадуллин И. Н. Шероховатость поверхностей деталей и качество функциональных свойств изделий // Металлообработка. 2017. Т. 101, № 5. С. 38—43.

2. Табенкин А. Н., Тарасов С. Б., Степанов С. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / Под ред. Н. А. Табачниковой. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 136 с.
3. Валетов В. А. Проблемы оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей для обеспечения их конкретных функциональных свойств // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 250—267.
4. Валетов В. А. Возможные критерии оценки шероховатости обработанных поверхностей // Тр. ЛКИ. 1976. Вып. 108. С. 135—140.
5. Валетов В. А., Иванов А. Ю. Микрогеометрия поверхностей деталей и их функциональные свойства // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 8. С. 6—11.
6. Филимонова Е. А. Разработка методики и программы автоматизированного контроля микрогеометрии поверхностей деталей приборов с помощью графических критериев и их использование в технологических исследованиях: Автореф: дис. ... канд. техн. наук. СПб: НИУ ИТМО, 2014. С. 125.
7. Андреев Ю. С., Медунецкий В. В. Исследования изменения микрорельефа поверхностей в процессе их трения скольжения // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 9. С. 30—34.
8. Валетов В. А., Филимонова Е. А. Применение непараметрических критериев для оценки микрогеометрии при импульсном фрезеровании // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 8. С. 52—54.
9. Третьяков С. Д., Юльметова О. С. О проблемах оптимизации микрогеометрии поверхностного слоя деталей приборов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 8. С. 12—15.
10. Ivanov A. Y., Leonov D. B. Methodology for optimization, evaluation and control of products surface roughness // Fundamental Sciences and Applications: Journal of the Techn. Univ. Sofia (Plovdiv Branch), Bulgaria. 2012. Vol. 17. P. 19—23.
11. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2011613843. Программа автоматизированного контроля микрогеометрии поверхностей с помощью непараметрических критериев / В. А. Валетов, Е. А. Филимонова. Оpubл. 18.05.2011.
12. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2014614458. Программа автоматизированного контроля и оценки микрогеометрии поверхностей с помощью микротопографий / В. А. Валетов, Е. А. Филимонова. Оpubл. 24.04.2014.
13. Третьяков С. Д., Юльметова О. С., Филимонова Е. А. Оценка шероховатости поверхности с использованием трехмерных топографий // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 8. С. 58—60.

#### Сведения об авторах

- Ильсур Наилевич Гибадуллин** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра технологий приборостроения; E-mail: givadullinilsur@mail.ru
- Вячеслав Алексеевич Валетов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра технологий приборостроения; E-mail: givadullinilsur@mail.ru

Поступила в редакцию  
31.08.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Гибадуллин И. Н., Валетов В. А. Изображение профиля поверхности как графический критерий оценки шероховатости // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 1. С. 86—92.

## IMAGE OF THE SURFACE PROFILE AS A GRAPHIC CRITERION OF ITS ROUGHNESS

I. N. Gibadullin, V. A. Valetov

ITMO University, 197101, St. Peersburg, Russia  
E-mail: givadullinilsur@mail.ru

A method of estimation and control of surface roughness of instrument parts using graphical criteria is proposed. In particular, image of surface profile may be used as the criterion. To implement the method, a special software is developed to qualitatively assess the degree of similarity of profiles of the surfaces under consideration. Results of the study of application possibility of the developed technique to real surfaces obtained by various processing methods are presented.

**Keywords:** surface roughness, functional surface properties, surface roughness control, surface profile, graphic criteria

#### REFERENCES

1. Valetov V.A., Gibadullin I.N. *Metalloobrabotka*, 2017, no. 5(101), pp. 38–43. (in Russ.)
2. Tabenkin A.N., Tarasov S.B., Stepanov S.N. *Sherokhovatost', volnistost', profil'. Mezhdunarodnyy opyt* (Roughness, Waviness, Profile. International Experience), St. Petersburg, 2007, 136 p. (in Russ.)
3. Valetov V.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2015, no. 4(58), pp. 250–267. (in Russ.)
4. Valetov V.A. *Proceedings of Leningrad Shipbuilding Institute*, 1976, no. 108, pp. 135–140. (in Russ.)
5. Valetov V.A., Ivanov A.Yu. *Journal of Instrument Engineering*, 2010, no. 8(53), pp. 6–11. (in Russ.)
6. Filimonova E.A. *Razrabotka metodiki i programmy avtomatizirovannogo kontrolya mikrogeometrii poverkhnostey detaley priborov s pomoshch'yu graficheskikh kriteriyev i ikh ispol'zovaniye v tekhnologicheskikh issledovaniyakh* (Development of a Technique and the Program for Automated Control of Surfaces Microgeometry of Details of Devices by Means of Graphic Criteria and Their use in Technological Researches), Candidate's thesis, St. Petersburg, 2014, p. 125. (in Russ.)
7. Andreyev Yu.S., Medunetskiy V.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, no. 9(55), pp. 30–34. (in Russ.)
8. Valetov V.A., Filimonova E.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 8(57), pp. 52–54. (in Russ.)
9. Tret'yakov S.D., Yul'metova O.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2010, no. 8(53), pp. 12–15. (in Russ.)
10. Ivanov A.Y., Leonov D.B. *Fundamental Sciences and Applications: Journal of the Techn. Univ. Sofia* (Plovdiv branch), Bulgaria, 2012, vol. 17, pp. 19–23.
11. Certificate on the state registration of the computer programs 2011613843, *Programma avtomatizirovannogo kontrolya mikrogeometrii poverkhnostey s pomoshch'yu neparametricheskikh kriteriyev* (The Program of Automated Control of Surface Microgeometry Using Nonparametric Criteria), Valetov V.A., Filimonova E.A., Published 18.05.2011. (in Russ.)
12. Certificate on the state registration of the computer programs 2014614458, *Programma avtomatizirovannogo kontrolya i otsenki mikrogeometrii poverkhnostey s pomoshch'yu mikrotopografiy* (The Program of Automated Control and Assessment of Microgeometry of Surfaces by Means of Microtopography), Valetov V.A., Filimonova E.A., Priority 03.03.2014, Published 24.04.2014. (in Russ.)
13. Tret'yakov S.D., Yul'metova O.S., Filimonova E.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 8(57), pp. 58–60. (in Russ.)

#### Data on authors

- Ilsur N. Gibadullin** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology; E-mail: gibadullinilsur@mail.ru
- Vyacheslav A. Valetov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology; E-mail: gibadullinilsur@mail.ru

**For citation:** Gibadullin I. N., Valetov V. A. Image of the surface profile as a graphic criterion of its roughness. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 1. P. 86–92 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-1-86-92