

УДК 621.924.6

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧЕННОЙ В ИМИТАЦИОННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ

Л.В. Шипулин, С.А. Павлов, Е.В. Нестерюк

В статье рассматривается разработка алгоритма и программного модуля для расчета горизонтальных параметров шероховатости виртуальной рельефной поверхности, полученной в имитационной геометрической модели. В ходе расчета определяется параметры шероховатости: t_p ; S ; S_m .

Ключевые слова: параметры шероховатости, шлифование, виртуальная поверхность.

На заключительных операциях изготовления деталей применяются процессы шлифования, которые обеспечивают достижение высокой точности изделия и низкой шероховатости его поверхностей. В большинстве стран мира в качестве критериев для оценки шероховатости приняты шесть параметров, из которых три характеризуют высоту неровностей (вертикальные параметры), а три – шаговые размеры неровностей (горизонтальные параметры). К высотным параметрам относят: R_a , R_z , R_{max} , а к горизонтальным: t_p , S , S_m .

Высотные параметры являются основными в большинстве случаев, при нормировании и контроле поверхностей. В то же время существуют поверхности, к которым предъявляются особые эксплуатационные свойства, такие как: герметичность, прочность, контактная жесткость и износостойчивость. Эти технические требования напрямую связаны с фактической площадью контакта поверхностей деталей машин, для оценки которой нормируют шаговые параметры S_m и S , а также параметр t_p .

Одним из наиболее перспективных способов изучения параметров шероховатости поверхности, получаемой при шлифовании, является имитационное моделирование формирования рельефной поверхности. В данном направлении имеется ряд отечественных и зарубежных работ, принадлежащих следующим авторам: А.М. Козлову и В.В. Ефремову [1], X. Zhou и F. Xi [2], E. Salisbury, K. Vinod Domala, K. Moon, M. Miller и J. Sutherland [3], J. Jianga, P. Gea, W. Bia, L. Zhanga, D. Wanga, Y. Zhanga [4]. Одной из аналогичных моделей, разработанной А.А. Дьяконовым и Л.В. Шипулиным, является имитационная геометрическая модель [5], которая входит в состав комплексной имитационной модели процессов шлифования [6]. В этой модели формируется виртуальная рельефная поверхность после шлифования.

Задача разработки алгоритма и программного модуля для расчёта высотных параметров R_a , R_z , R_{max} (среднее арифметическое отклонение профиля, высота микронеровностей по 10 точкам, наибольшая высота неровностей профиля) была решена авторами в работе [7]. Алгоритм и программный модуль для расчёта горизонтальных параметров t_p ; S ; S_m в работе [7] не рассматривался. Поэтому разработка алгоритма и программного модуля для расчёта горизонтальных параметров является актуальной в настоящее время.

Рассматривая виртуальную поверхность, полученную в имитационной геометрической модели [7], заметим, что она представлена в виде двумерной матрицы $H [i, j]$, каждый элемент которой – это координаты положения узлов регулярной сетки на поверхности заготовки от идеальной горизонтальной плоскости. Для определения параметров шероховатости поверхности рассматривается некоторое сечение поперечное к скорости резания направлении, математически представленное вектором–столбцом. Таким образом, имеется массив координат положения узлов сетки в некотором сечении, для которого требуется разработать алгоритм определения параметров шероховатости t_p , S_m , S .

Расчет параметра t_p . Для расчета параметра t_p необходимо провести линию профиля, параллельную базовой линии профиля. Для этого необходимо от линии выступов профиля отложить вниз отрезок, на расстояние p , взятое в процентах от R_{max} и через его конец провести линию, параллельную средней линии m . Затем определяем число таких отрезков n и их значение b_i . ГОСТ 2789–73 регламентирует числовые значения уровня сечения профиля P : 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90% от R_{max} .

Для программной реализации поставленной задачи, предлагается следующий алгоритм расчёта. В первую очередь необходимо определить расстояние p по формуле

$$p = \frac{P\% \cdot R_{max}}{100\%}$$

Далее организуем цикл перебора по y_i , и каждую итерацию цикла проверим – на каком уровне находится y_i . Если y_i окажется выше p , то это значение прибавляем к суммарной опорной длине, если ниже, то не учитываем. На рис. 1 проиллюстрирован двумерный массив данных, в котором ширина одного столбика равна 1 мкм. Столбцы, что расположены выше уровня p , отмечены зелёным цветом, а те, что ниже – красным. Таким образом, можно определить число зелёных столбиков, и как следствие расчитать суммарную опорную длину.

Далее рассчитаем относительную опорную длину профиля t_p по формуле

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i$$

В результате программного расчета получены значения относительной опорной длины, представленные в таблице. Также программно построены профилограммы с сечением на уровне p для двенадцати его значений. На рис. 2–5 представлены результаты программного расчета относительной опорной длины для четырех случаев расположения линии p .

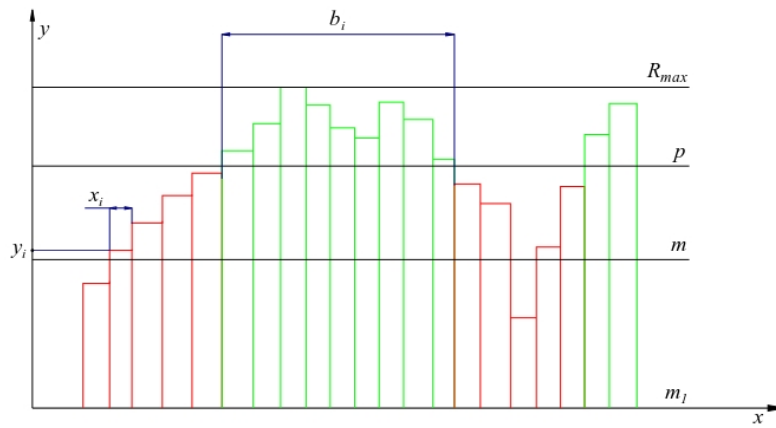


Рис. 1. Двумерный массив данных

Таблица

Рассчитанные значения

$p, \%$	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
$t_p, \%$	0,2	0,6	1,2	2,4	5,6	10,5	25,4	39,9	59	75	83,6	87,2

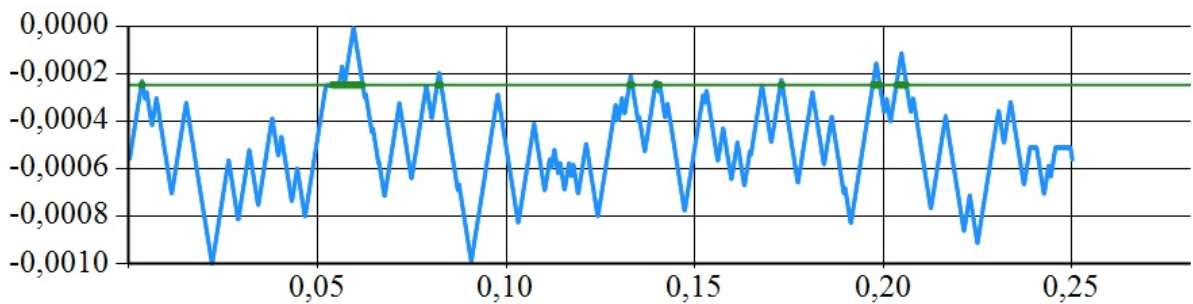


Рис. 2. Профилограмма с отмеченным уровнем $p = 25 \%$

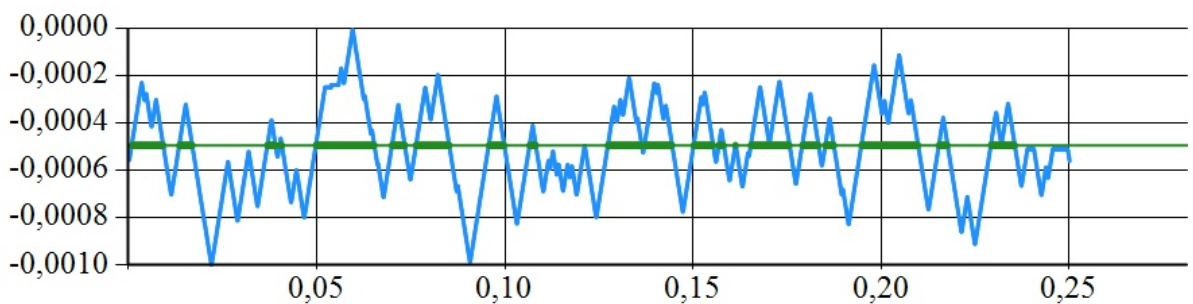


Рис. 3. Профилограмма с отмеченным уровнем $p = 50 \%$

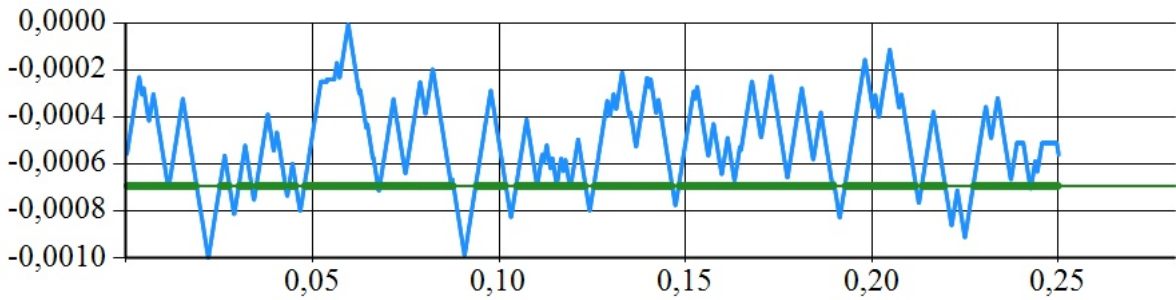


Рис. 4. Профилограмма с отмеченным уровнем $p = 60\%$

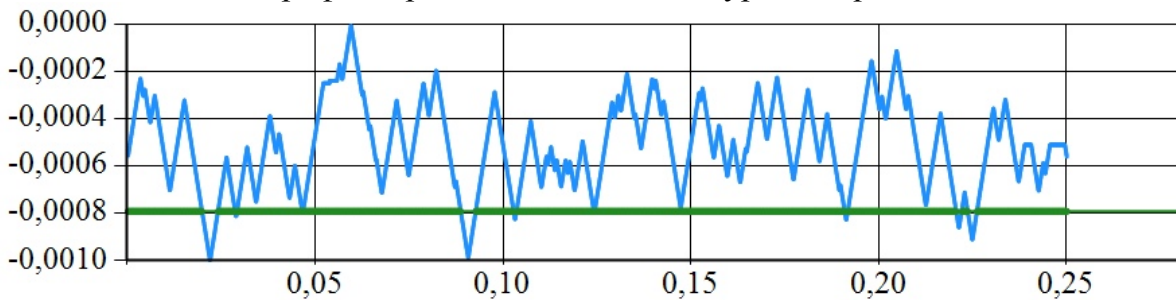


Рис. 5. Профилограмма с отмеченным уровнем $p = 70\%$

Расчет параметра S_m . Следующий параметр шероховатости поверхности, который применяется в машиностроении, является средний шаг неровностей S_m . Для его расчета, необходимо в пределах базовой длины, определить число пересечений профиля со средней линией. После этого измерить длину отрезка средней линии l_0 , которая ограничена первой и предпоследней точкой пересечения профиля со средней линией.

Для программной реализации поставленной задачи, с использованием двумерного массива данных, предлагается следующий алгоритм расчёта. В первую очередь необходимо провести перебор всех точек кривой линии профиля y_i . При переборе, когда y_i больше y_{i-1} , то есть профиль поверхности идет вверх, ищется ситуация, когда текущая точка располагается выше средней линии, а предыдущая – ниже. То есть выполняется условие

$$\begin{cases} y_i > y_{i-1} \\ y_i > m \\ y_i < m \end{cases}$$

Выполнение этих условий свидетельствует о том, что данная точка является пересечением возрастающего профиля поверхности и средней линии. Таким образом, можно найти все точки, когда профиль поверхности пересекается со средней линией, а также их количество N .

Далее определяется длина l_0 , ограниченная первым и последним пересечением линии профиля со средней линией (рис. 6) $l_0 = X_N - X_1$, где X_N – координата последней точки пересечения возрастающего профиля со средней линией; X_1 – координата первой точки пересечения возрастающего

профиля со средней линией. В заключение рассчитывается параметр шероховатости S_m

$$S_m = \frac{l_0}{N-1} = \frac{X_{N-1} - X_1}{N-1}$$

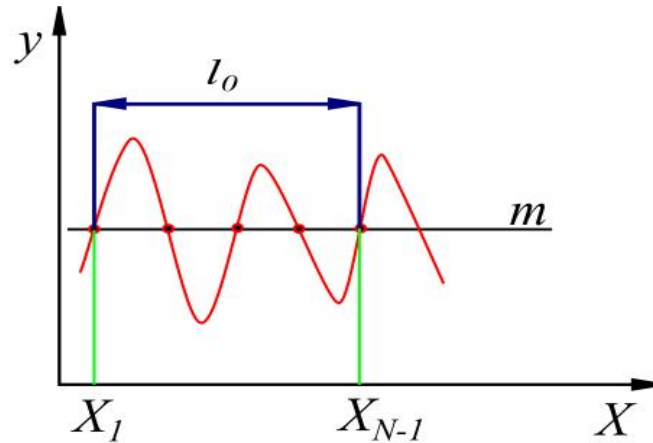


Рис. 6. Схема для определения отрезка средней линии l_0

В результате реализации в программе указанного выше алгоритма расчета параметра среднего шага неровностей для профилограммы S_m , программно формируется изображение, приведенное на рис. 7, а также рассчитывается значение $S_m = 0,012$ мкм.

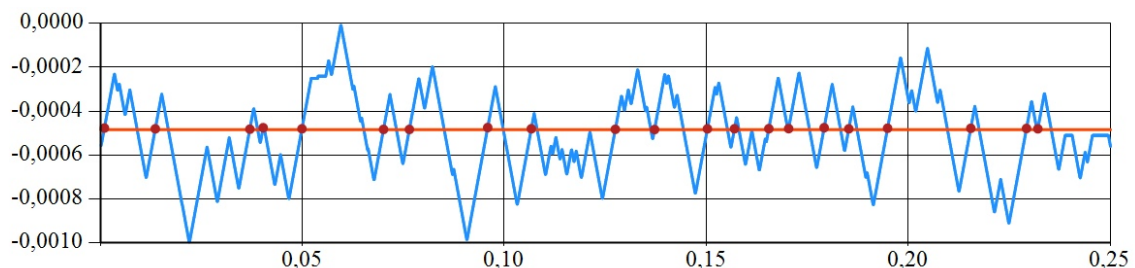


Рис. 7. Профилограмма к расчету параметра S_m

Параметр шероховатости S . Параметр шероховатости, оказывающий влияние на прочность при циклических нагрузках и виброустойчивость, является средним шагом местных выступов профиля S . Для его расчета, необходимо знать число всех вершин профиля и длину l_{01} , измеренную между первым и последним максимумами.

Для программной реализации поставленной задачи, с использованием двумерного массива данных, предлагается следующий алгоритм расчета. В первую очередь для определения максимумов профиля используются ранее предложенный алгоритм [7]. Далее определяется количество максимумов профиля M . Определяется расстояние от первого до последнего вы-

ступа l_{01} (рис. 8) как $l_{01} = X_M - X_1$, где X_M – координата последнего выступа; X_1 – координата первого выступа. В заключение S рассчитывается по формуле

$$S = \frac{l_{01}}{M-1} = \frac{X_M - X_1}{M-1}.$$

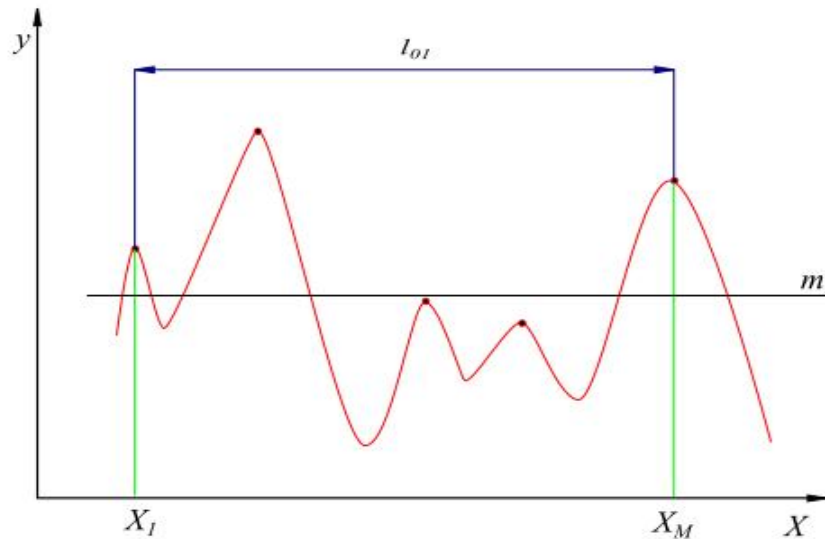


Рис. 8. Схема для определения длины l_{01}

Реализация приведенного алгоритма позволила программно отметить все пики на профилограмме и получить иллюстрацию этого (рис. 9). Также программа позволяет получить значение среднего шага местных выступов $S = 0,004$ мкм.

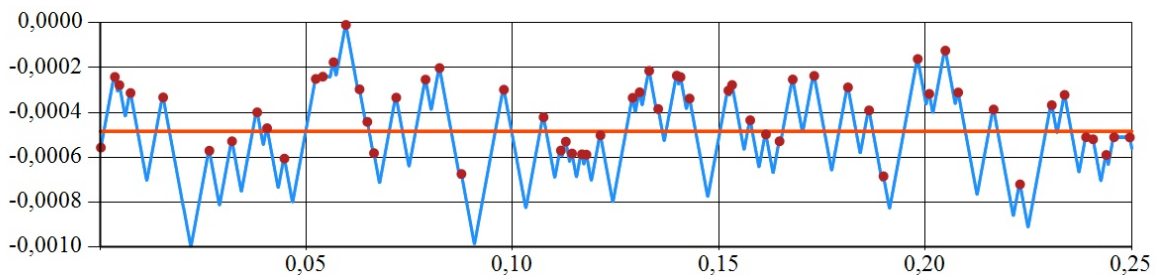


Рис. 9. Профилограмма с отмеченными пиками

Заключение. В работе были разработаны алгоритмы для программного расчёта горизонтальных параметров шероховатости. Указанные алгоритмы позволили реализовать программу для расчёта параметров шероховатости по заданному массиву координат точек. Результаты программных расчётов показывают правильность составленных алгоритмов и дают конечный числовой результат.

Библиографический список

1. Козлов, А.М. Формирование микрорельефа при обработке абразивным инструментом / А.М. Козлов, В.В. Ефремов // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 1. – С. 59–64.
2. Zhou, X. Modeling and predicting surface roughness of the grinding process / X. Zhou, F. Xi // Intern. J. of Machine Tools & Manufacture. – 2002. – V. 42. – P. 969–977.
3. A three-dimensional model for the surface texture in surface grinding, part 1: surface generation model / E.J. Salisbury, K.V. Domala, K.S. Moon et al. // Journal of Manufacturing Science and Engineering (Impact Factor: 1.02). – 2001. – 123(4). – P. 576–581.
4. 2D/3D ground surface topography modeling considering dressing and wear effects in grinding process / J.L. Jianga, P.Q. Gea, W.B. Bia et al. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2013. – V. 74. – P. 29–40.
5. Дьяконов, А.А. Имитационная геометрическая модель взаимодействия шлифовального круга и заготовки в процессе плоского шлифования периферией круга / А.А. Дьяконов, Л.В. Шипулин // СТИН. – 2015. – № 6. – С. 23–26.
6. Дьяконов, А.А. Комплексное моделирование процесса плоского шлифования периферией круга / А.А. Дьяконов, Л.В. Шипулин // Научные технологии в машиностроении. – 2013. – № 6 (24). – С. 14–18.
7. Шипулин, Л.В. Расчет параметров шероховатости виртуальной поверхности, полученной в имитационной геометрической модели шлифования / Л.В. Шипулин, Ю.Д. Петросян, Е.И. Ионова // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2016. – С. 3–8.

[К содержанию](#)