

Применение корреляционных функций для оценки погрешности формы деталей машин в поперечном сечении

А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов

Оценка погрешности формы деталей машин в поперечном сечении достаточно сложная задача, ввиду того, что на результат оказывают влияние погрешности установки и смещение измеряемой поверхности (эксцентриситет). Одним из эффективных путей исключения данных погрешностей является использование аппарата Фурье-анализа, который позволяет, исключая соответствующие гармоники, оценить параметры погрешности формы в поперечном сечении без указанных выше погрешностей [1, 2]. Однако процесс вычислений в данном случае достаточно трудоемкий и сложный, следовательно, Фурье-анализ для оценки параметров погрешности формы будет затруднительно применять в случае оперативной диагностики погрешности формы при обработке на станке.

Таким образом, целью работы является разработка метода оценки погрешности формы деталей машин в поперечном сечении, требующего меньших вычислительных затрат чем метод, основанный на Фурье-анализе, но обладающего такой же информативностью и точностью.

Одним из перспективных решений является применение корреляционного анализа. Подтверждением этого является эффективность использования корреляционных функций при описании профиля шероховатости [2, 3]. В данном случае профиль детали в поперечном сечении можно описать следующим выражением [3]:

$$K_{xx}(\tau) = 0,5A^2 \cos \frac{2\pi}{T\beta} \tau + D_\gamma e^{-\alpha\tau^2}, \quad (1)$$

Корреляционная функция профиля должна быть представлена системой параметров, установленных ГОСТ 24642-81.

Для расчета корреляционной функции профиля необходимо через параметр отклонения от круглости F_α выразить следующие величины:

-дисперсию случайной составляющей $D_\gamma = K_\gamma(0)$ равную значению корреляционной функции при $\tau = 0$.

-коэффициент затухания корреляционной функции случайной компоненты α ;

-амплитуду систематической составляющей A ;

-шаг систематической составляющей T_β .

Геометрическая интерпретация корреляционной функции приведена на рис. 1:

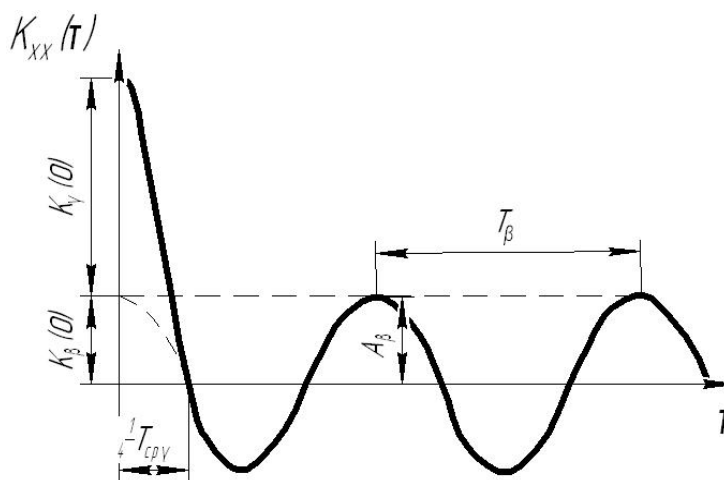


Рис. 1. Геометрическая интерпретация корреляционной функции

Для расчета корреляционной функции профиля поверхности необходимо через параметр поверхности отклонение от круглости F_a выразить следующие величины:

-дисперсию случайной составляющей $D_\gamma = K_\gamma(0)$ равную значению корреляционной функции при $\tau = 0$.

-коэффициент затухания корреляционной функции случайной компоненты α ;

-амплитуду систематической составляющей A ;

-шаг систематической составляющей T_β .

При токарной обработке на профиль в поперечном сечении доминирует случайная составляющая. Корреляционная функция этой составляющей с достаточной точностью аппроксимируется выражением

$$K_{xx}(\tau) = D_{\gamma} e^{-\alpha\tau^2} \quad (2)$$

При $\tau=0$ имеем:

$$K_{xx}(\tau) = K_{xx}(0) = D_{\gamma} = F_q^2 \approx 1,5F_a^2 \quad (3)$$

В конечном виде корреляционная функция профиля имеет вид:

$$K_{xx}(\tau) = \gamma F_q^2 e^{-\frac{2\pi^2}{\gamma} \left(\frac{1}{S_m^2} - \frac{1-\gamma}{2T_B^2} \right) \tau^2} \cdot \cos \frac{2\pi}{S_m} \tau, \quad (4)$$

где T_B – шаг случайной составляющей, S_m – шаг систематической составляющей.

Для экспериментального подтверждения производилось определение корреляционной функции по данным измерений на реальных деталях [4 - 6]. В данном случае значения искомой функции определяются следующим образом:

$$C_{xx} = \frac{1}{N-1} \times \sum_{i=0}^{N-1} ((x_i - m_x) \times (x_{i+\tau} - m_x)), \quad (5)$$

где m_x - среднее значение величины; σ_x^2 - дисперсия величины.

В качестве данных для анализа использовались измеренные профили реальных деталей, полученные в результате обработки точением: скорость резания V от 100м/мин до 300м/мин, подача S от 0,01мм/об до 0,21мм/об, глубина резания t от 0,25мм до 1,5мм.

В качестве режущего инструмента использовались стандартные токарные резцы с механическим креплением режущих пластин из наиболее распространенных в производстве твердых сплавов Т15К6, ВК8, ВОК60.

Для измерения и анализа виброакустических колебаний включает приборы и регистрирующую аппаратуру приемный преобразователь, усилитель, блок фильтров, комплекс анализа вибросигналов ZetLab (ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы»).

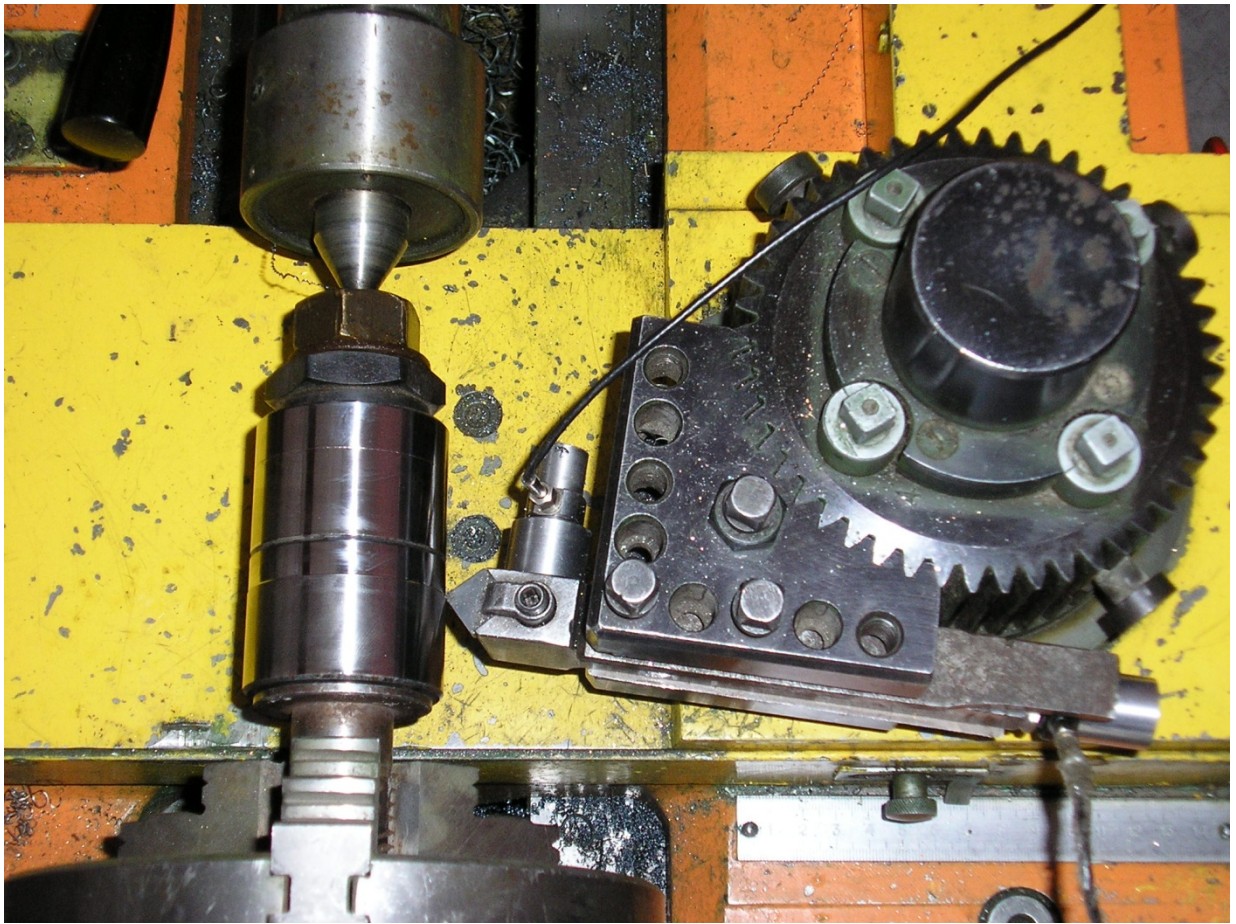


Рис. 2. Стенд

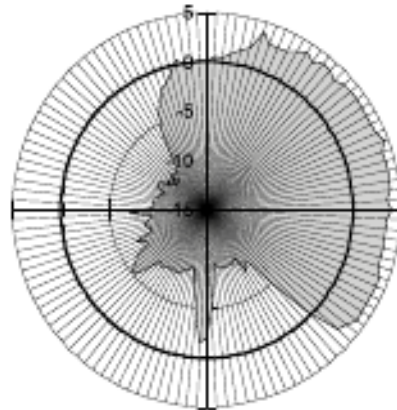


Рис. 3. Отклонение от реального размера $n=1000$ об/мин; $S=40$ мм/об
Вычисление значений функции (5) производилось в специально разработанной компьютерной программе, см. рис. 4 [7].

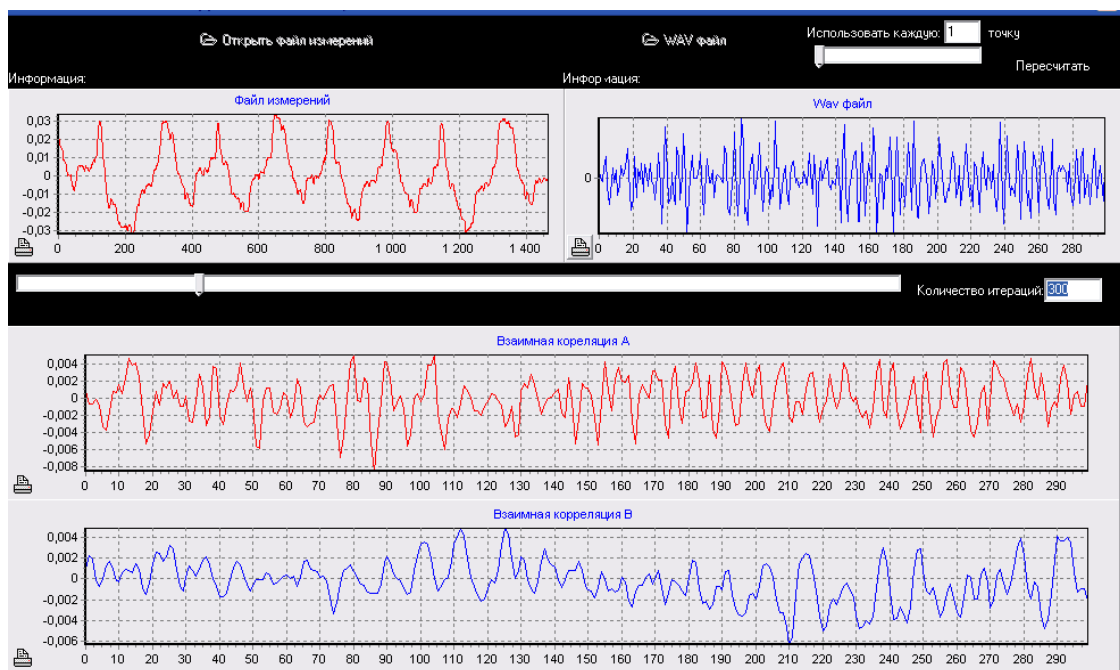


Рис. 4. Интерфейс программы

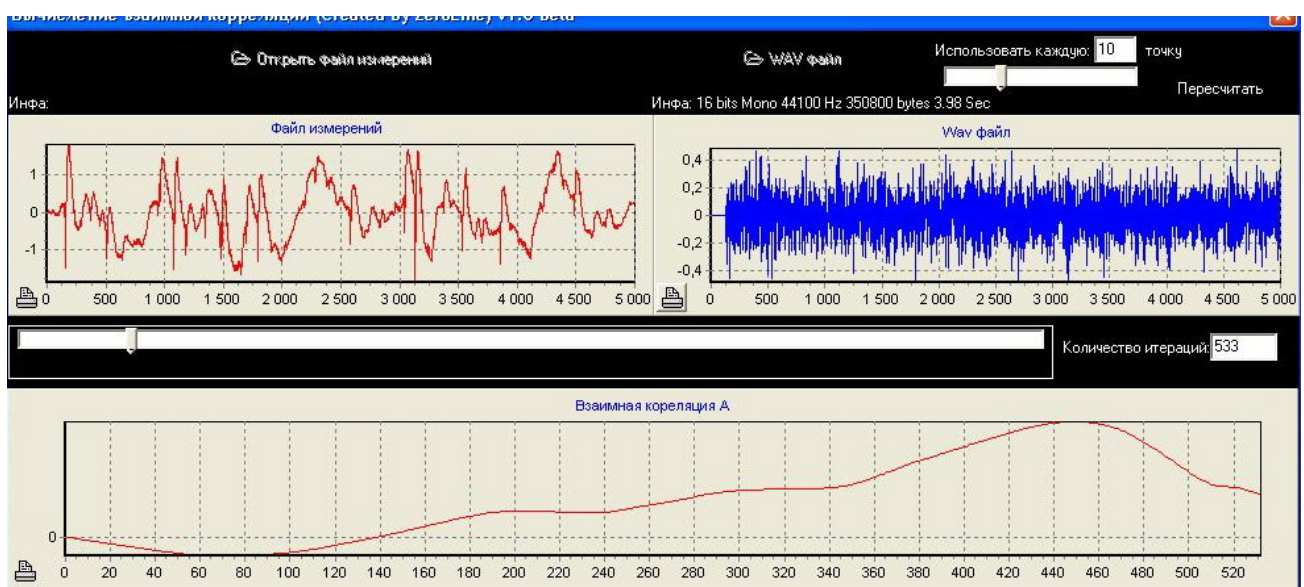


Рис. 5 Результат расчетов взаимной корреляции

Суждение о применимости рассматриваемого аппарата производилось посредством определения взаимной корреляции между оценками погрешности формы посредством Фурье анализа [1, 2, 8, 9, 10] и описания, полученного с использованием выражений (4, 5), которые вычислялись на основе экспериментальных данных. Расчеты показали, что коэффициент взаимной корреляции достигает 0,8 (см. рис. 5), что говорит о сильной взаимосвязи и подтверждает правильность высказанных предположений.

Литература:

1. Остапчук А.К. Метод оценки погрешности формы деталей гидравлических систем транспортных машин [текст] / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов // Транспорт Урала, №2, 2011. - с. 38-41.
2. Остапчук А.К. Применение теории случайных процессов для моделирования параметров качества поверхности [текст] / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов // Транспорт Урала, №2, 2011. - с. 41-46.
3. Остапчук А.К. Научные основы обеспечения шероховатости поверхности на базе анализа случайных процессов: Монография [текст] / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. - 188 с.
4. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования [электронный ресурс] / В.В. Зырянов // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Квочкин А.И. Параметрический метод измерения разности фаз квазигармонических сигналов [электронный ресурс] / А.И. Квочкин, А.В. Никитин, В.К. Игнатьев // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1749> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. Овсянников В.Е. Инновации при выглаживании с жестким закреплением индентора: монография [текст] / В.Е. Овсянников, В.Ф. Губанов, В.В. Марфицын. – Lambert academic publishing, Germany, Saabrucken, 2012. – 224 с.
7. «Вычисление взаимной корреляции v1.0»: свидетельство об отраслевой регистрации разработки №10387 / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов. - № 50200800796; заявл. 11.04.2008; опублик. 11.04.2008; Инновации в науке и образовании №4(39). с. 12

8. Bertsekas D.P., Shreve S.E. Stochastic Optimal Control. The Discrete-Time Case. – Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, 2006. 330 p.
9. Bertsekas D.P., Shreve S.E. Athena Scientific; 1 edition (February 1, 2007). - 330 p.
10. Stidham S. A. Discounted Analog and a New Proof // Operation Research. - 1972. -Vol. 29. - P. 1115-1126.