

## КООРДИНАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОГРАНИЧЕННЫХ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Асп. КРОТОВА О. А.

Белорусский национальный технический университет

При решении комплекса измерительных задач достаточно часто сталкиваются с поверхностями, имеющими элементы прерывания. Экспериментальные исследования [1] показали, что использование традиционных методик для поверхностей, угловой диапазон рабочей поверхности которых составляет менее 200°, приводит к появлению значительной относительной методической погрешности  $\delta^*$  и только при угловом диапазоне от 200°  $\delta^*$  не превышает допустимого значения.

Авторами [2] разработана методика координатных измерений сложных поверхностей с элементами прерывания. В ее основу положена возможность описания текущего радиус-вектора  $R_i(\varphi)$  реального профиля поперечного сечения детали типа тело вращения рядом Фурье с ограниченным числом членов.

Минимально необходимое количество контрольных точек рассчитывается по формуле

$$n = 2S = 1 + \frac{360}{z} \left( 1 - \frac{2}{\pi P} \arccos(1 - \delta_{\text{доп}}) \right), \quad (1)$$

где  $P$  – заданная вероятность;  $z$  – угловой шаг измерения;  $\delta_{\text{доп}}$  – допустимое значение относительной методической погрешности.

Очевидно (1), что оптимальное количество контрольных точек не зависит от формы профиля, т. е. количества и соотношения амплитуд и начальных фаз гармоник реального профиля, а определяется требуемой точностью, угловым шагом и заданной вероятностью.

Результаты расчета количества контрольных точек представлены в табл. 1.

Рассмотрим зависимость полученного количества контрольных точек от качества технологического процесса, а именно от его способно-

сти находиться в статистически управляемом состоянии.

Таблица 1

P	[ $\delta$ ]				
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	n				
0,99	13	16	19	23	27
0,95	12	15	18	22	27
0,9	11	14	17*	21	26
0,8	7	11	15	19	25
0,7	3	7	12	17	23
0,6	3	3	7	13	20
0,5	3	3	3	7	17

\* Выделенный диапазон представляет собой предпочтительные значения.

Будем считать, что состояние технологического процесса статистически управляемое, если за межнастроечный период все точки находятся внутри линий контрольных границ.

Предположим, что индекс воспроизводимости  $C_p$  (отношение допуска на размер и практического поля рассеяния) определяет отношение допустимого и действительного значений относительной методической погрешности  $k_1$ .

Следовательно, при неизменных  $z$  и  $P$  выражение (1) может быть представлено в виде  $n = f(\arccos(1 - \delta_{\text{доп}}))$ .

Для расчета оптимального количества контрольных точек при измерении ограниченных участков поверхности с учетом коэффициентов воспроизводимости технологического процесса введем коэффициент  $k_2$

$$k_2 = \frac{\arccos(1 - \delta^*)}{\arccos(1 - \delta_{\text{доп}})}. \quad (2)$$

С учетом (2) получаем

$$n_1 = k_2 n. \quad (3)$$

Проведем экспериментальные исследования технологического процесса изготовления пробок газового крана.

Состояние процессов оценивают на основе выборок с использованием контрольных карт Шухарта по ГОСТ 50779.42.

Для выборки (30 изделий (табл. 2)) получаем оценки  $\mu$  и  $\sigma$  по формулам:

$$\mu = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 10,1806 \text{ мм}; \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0,0049 \text{ мм}. \quad (5)$$

Таблица 2

Действительные значения контролируемого диаметра

10,1803	10,1805	10,1871	10,1723	10,1771	10,1732
10,1806	10,1803	10,1858	10,1855	10,1827	10,1842
10,1801	10,1803	10,1900	10,1829	10,1717	10,1738
10,1802	10,1804	10,1917	10,1797	10,1755	10,1781
10,1803	10,1804	10,1815	10,1764	10,1889	10,1773
10,1753	10,1834	10,1753	10,1851	10,1769	10,1795
10,1743	10,1713	10,1802	10,1795	10,1791	10,1832
10,1813	10,1811	10,1778	10,1842	10,1751	10,1796
10,1785	10,1788	10,1752	10,1736	10,1832	10,1730
10,1885	10,1822	10,1737	10,1848	10,1896	10,1815
10,1768	10,1795	10,1702	10,1842	10,1740	10,1797
10,1822	10,1798	10,1771	10,1813	10,1785	10,1785
10,1753	10,1773	10,1774	10,1792	10,1793	10,1784
10,1758	10,1777	10,1757	10,1798	10,1792	10,1828
10,1750	10,1767	10,1810	10,1739	10,1807	10,1827
10,1801	10,1741	10,1755	10,1797	10,1867	10,1721
10,1777	10,1796	10,1749	10,1741	10,1816	10,1795
10,1809	10,1763	10,1757	10,1774	10,1749	10,1801
10,1816	10,1734	10,1773	10,1745	10,1759	10,1726
10,1840	10,1785	10,1834	10,1778	10,1729	10,1826

Для построения контрольной карты необходимо рассчитать границы регулирования

$$ГР = \mu \pm k\sigma. \quad (6)$$

При  $P = 0,99$  (изделие связано с безопасностью жизни людей)  $k = 3$ .

Так как все точки находятся внутри линий контрольных границ, состояние технологического процесса статистически управляемое.

Показатели, применяемые для оценки возможностей процессов, называют индексами воспроизводимости процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$  (СТБ ГОСТ Р 50779.44):

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_I}; \quad (7)$$

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_I}; \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_I}\right\}, \quad (8)$$

где  $USL$  и  $LSL$  – соответственно наибольшее и наименьшее предельные значения показателя качества (пределы поля допуска);  $\bar{X}$  – среднее арифметическое всех значений в объединенной выборке или среднее средних значений отдельных выборок;  $\sigma_I$  – выборочное стандартное отклонение процесса, стабильность которого установлена.

В нашем случае  $USL = 10,23$  мм,  $LSL = 10,17$  мм.

Используя формулы (7) и (8), рассчитаем значения  $C_p$  и  $C_{pk}$ :

$$C_p = 2,78; C_{pk} = \min [4,54; 1,01] = 1,01.$$

1. Проведем экспериментальные исследования методической погрешности измерения (рис. 1), для чего:



Рис. 1. Ход проведения эксперимента

- на базе анализа технической документации определяем допуск контролируемого параметра  $IT$ , имея в виду, что  $\Delta < IT$ ;

- определяем инструментальную погрешность  $\Delta_{инстр}$  выбранного СИ;

- задаемся приемлемой, исходя из целей контроля, относительной погрешностью измерения  $\delta$  при заданной вероятности  $P$ , приняв ее в качестве допустимой погрешности  $[\delta]$ .

2. Используя таблицу расчетных значений (табл. 1), находим минимально необходимое количество контрольных точек  $n$ .

3. Проводим измерения в  $n$  точках при угловом диапазоне рабочей поверхности  $200^\circ$  (рис. 2).

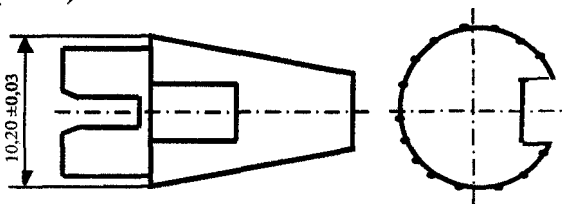


Рис. 2. Эскиз пробки газового крана

4. Рассчитываем относительную погрешность измерения  $\delta^*$ .

Действительное значение относительной погрешности  $\delta^*$  при определении размера рассчитывается по формуле

$$\delta^* = \sqrt{\delta_{\max}^2 + \delta_{\min}^2 + \delta_{\text{диск}}^2}, \quad (9)$$

где  $\delta_{\max}$  – погрешность определения максимума материала;  $\delta_{\min}$  – то же минимума материала;  $\delta_{\text{диск}}$  – погрешность дискретизации (использование ограниченных участков профиля).

В результате обработки полученных значений относительная методическая погрешность измерения составила 0,134. Отношение допустимого и действительного значений относительной методической погрешности  $k_1$  равно 2,985.

В ходе аналогичных исследований различных технологических процессов была получена зависимость между коэффициентами  $C_p$  и  $k_1$  (рис. 3).

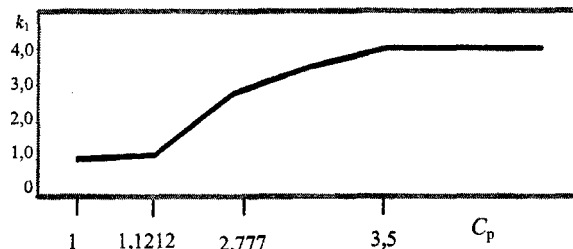


Рис. 3. Зависимость между коэффициентами  $C_p$  и  $k_1$

Экспериментальные исследования показали, что при измерении сечения пробки газового крана по девяти контрольным точкам  $\delta^*$  не превышает 40 % (т. е. допустимого значения), использование меньшего количества точек приводит к появлению относительной методической погрешности, превышающей допустимое значение.

## ВЫВОД

Методики выполнения координатных измерений могут быть оптимизированы с учетом коэффициентов воспроизводимости технологических процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соломахо В. Л., Кротова О. А. Анализ применимости методик выполнения координатных измерений к сложным поверхностям, имеющим элементы прерывания // Метрология и приборостроение. – 2003. – № 3. – С. 26.
2. Соломахо В. Л., Соколовский С. С., Кротова О. А. Особенности координатных измерений сложных поверхностей, представленных ограниченными участками окружности // Вестник БНТУ. – 2003. – № 1. – С. 43.