

УДК 389.14

Х.К. Радев, В.Й. Богев, В.А. Василев

Технический университет, София, Болгария

## О НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ОСЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*Рассматриваются основные факторы, формирующие неопределенность измерения взаимного расположения поверхностей и осей деталей. Акцентируется на доминирующую роль составляющих, связанных с построением ассоциированного элемента.*

**Ключевые слова:** неопределенность, отклонение взаимного расположения, извлеченный и ассоциированный элемент.

### Введение

Отклонение взаимного расположения определяется как отклонение реального расположения соответствующих элементов деталей (поверхности, профили, оси и т.д.) от их номинального расположения.

Оценка этих отклонений предполагает наличия предварительной информации о извлеченных элементах и их взаимного расположения. Эту информацию получают через измерения положения определенного числа точек реальных элементов относительно какой-то выходной базы, т.е. через реализацию извлеченного элемента. После этого относительно извлеченного элемента строятся соответствующие ассоциированные элементы, и оценивается их взаимное положение (этих ассоциированных элементов).

### Изложение основного материала

На неопределенность измерения отклонений взаимного расположения поверхностей и осей деталей оказывают влияние ряд факторов, формирующие соответствующие составляющие неопределенности. Их можно группировать следующим образом:

I группа – Неопределенность, связанная с реализацией извлеченного элемента.

II группа – Неопределенность, связанная с построением ассоциированного элемента.

К первой группе относятся следующие составляющие:

$u_{11}$  – неопределенность, связанная с измерительным прибором.

$u_{12}$  – неопределенность, связанная с условиями измерения.

$u_{13}$  – неопределенность, связанная с выходной базой.

К второй группе относятся составляющие, связанные с обработкой результатов измерения при реализации извлеченного элемента, в зависимости от вида ассоциированного элемента и числа и рас-

положения точек извлеченного элемента, относительно которого он строится.

Составляющие первой группы являются доминирующими при оценке неопределенности отклонения формы и подробно рассмотрены в [2].

По существу неопределенность положения точек извлеченного элемента в координатной системе выходной базой является основным аргументом в модельной функции отклонения взаимного расположения.

Эта функция определяется числом и расположением точек извлеченного элемента, относительно которого строится ассоциированный элемент, соответственно, видом ассоциированного элемента.

Минимальное число точек извлеченного элемента, по которым определяется ассоциированный элемент, зависит от вида ассоциированного элемента. Например, при прилегающем ассоциированном элементе это: две точки для прямой, три – для окружности, четыре для сферы, шесть – для цилиндра и т.д.

Средний ассоциированный элемент обычно определяется по значительно большему числу точек. Поэтому можно ожидать, что неопределенность положения каждой одной из точек отразится значительно меньше неопределенности положения ассоциированного элемента.

Как известно [2] для построения ассоциированных элементов существуют следующие три критерия: минимум максимального отклонения (элемент минимальной зоны), минимум суммы квадратов местных отклонений формы (средний ассоциированный элемент) и минимум / максимум размера сопрягаемой без натяга при нулевом зазоре детали номинальной формы (прилегающий ассоциированный элемент).

Особенно сильно влияние расположения используемых при построении ассоциированного элемента точек извлеченного элемента при прилегающем ассоциированном элементе и при ассоциированном элементе минимальной зоны.

Сказанное выше иллюстрируется следующими примерами.

**Пример 1.** Неопределенность измерения отклонений от параллельности профилей плоских поверхностей (рис. 1).

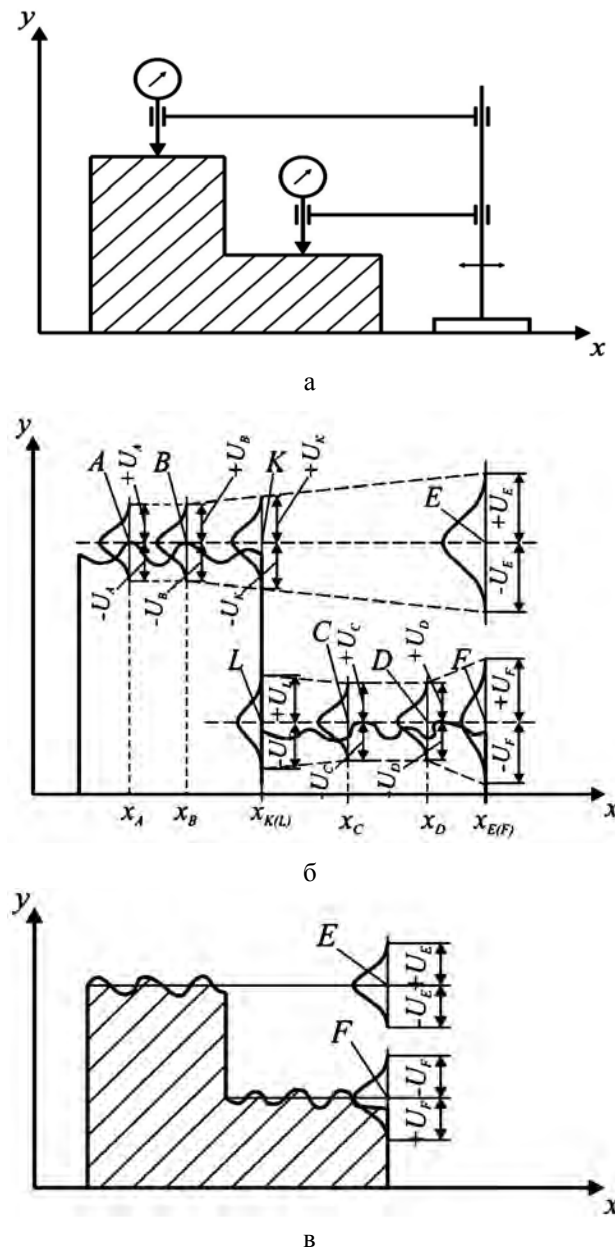


Рис. 1. Иллюстрация к примеру 1

Положение точек двух профилей 1 и 2 определяется относительно выходной базы (поверочная плита) с помощью индикаторной стойки и измерительной головки (рис. 1, а).

Ассоциированный элемент (прилегающая прямая) строится как касательная к двум точкам извлеченного профиля, напр.  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  и  $U_D$ . Неопределенность координат этих точек формирует неопределенность точек двух профилей в измеряемом сечении E/F, т.е.

$$U_E = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \cdot \frac{x_E - x_A}{x_B - x_A}; \quad (1)$$

$$U_F = \sqrt{U_C^2 + U_D^2} \cdot \frac{x_F - x_C}{x_D - x_C}; \quad (2)$$

$$U_K = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \cdot \frac{x_K - x_A}{x_B - x_A}; \quad (3)$$

$$U_L = \sqrt{U_C^2 + U_D^2} \cdot \frac{x_L - x_C}{x_D - x_C}. \quad (4)$$

Тогда неопределенность отклонения от параллельности  $U_{EPA}$  можно определить из выражения:

$$U_{EPA} = \sqrt{U_E^2 + U_F^2 + U_K^2 + U_L^2}. \quad (5)$$

При применении средней ассоциированной прямой (рис. 1, в)  $U_E$  и  $U_F$  значительно меньше  $U_{EPA}$  и при достаточном числе измеренных точек извлеченного элемента ими можно пренебречь.

**Пример 2.** Неопределенность результата измерения отклонений от соосности ЕРС (рис. 2, 3).

Отклонение от соосности ЕРС можно задать двумя способами: отклонение от соосности одной оси относительно базовой оси (рис. 2) или отклонение двух или больше осей относительно общей базовой оси (рис. 3).

Один из самых точных методов измерения отклонения от соосности является т.н. кругломерная схема.

При установлении ротационной детали на вращающемся столе кругломера измеряется радиальное биение двух сечений соответствующих шеек детали.

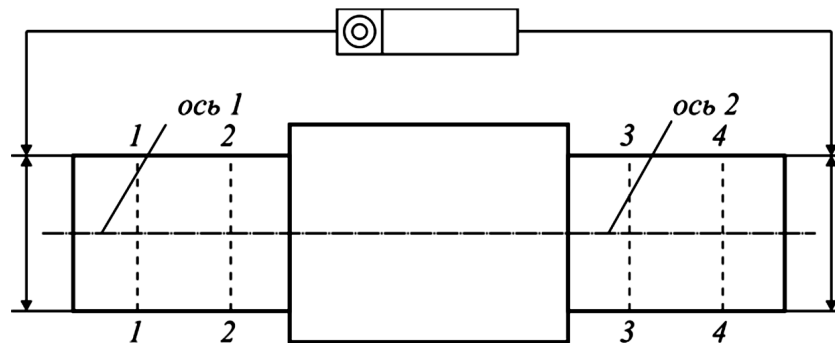


Рис. 2. Иллюстрация к примеру 2:  
отклонение от соосности одной оси относительно базовой оси

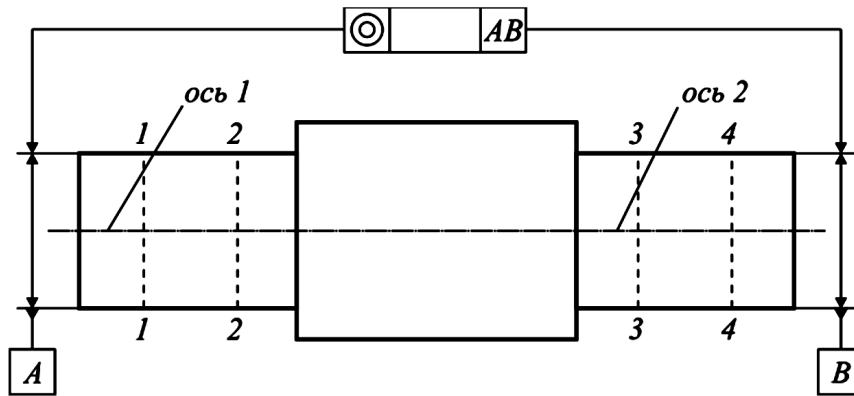


Рис. 3. Иллюстрация к примеру 2:

отклонение двух или больше осей относительно общей базовой оси

По этим результатам строится круглограмма соответствующего кругового профиля, проводится средняя ассоциированная окружность и определяется положение центров этих окружностей относительно оси вращения (ось Z) в координатной системе XYZ (XφZ) кругломера (рис. 4).

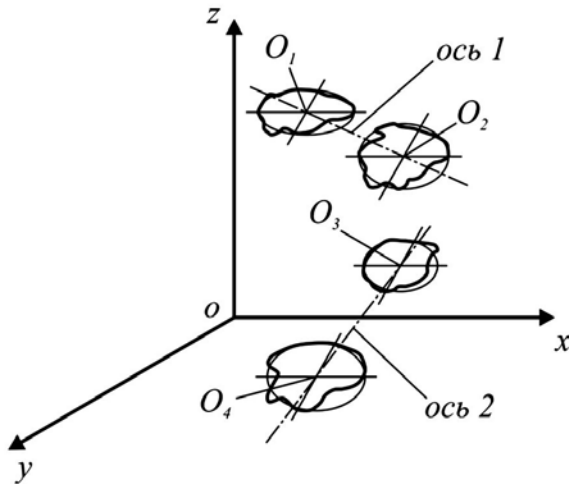


Рис. 4. Круглограмма соответствующего кругового профиля

Неопределенность измерения ЕРС зависит от неопределенности положения центров ассоцииро-

ванной (в данном случае средней) окружности профилей в поперечных сечениях  $i$  (минимум две сечения для каждой оси) до оси вращения, т.е. от значения эксцентриситетов  $u(e_x)$  и  $u(e_y)$ .

$$u(e_x) \rightarrow \sigma_{e_x} \quad (6)$$

$$u(e_y) \rightarrow \sigma_{e_y} \quad (7)$$

Исследования авторов [2] показывают, что при построении средней ассоциированной окружности по более чем 128 точкам извлеченного элемента  $u(e_x)$  и  $u(e_y)$  не превышают соответственно 11 – 15% максимальной неопределенности точек извлеченного элемента.

При использовании прилегающей ассоциированной окружности в экстремальных случаях  $u(e_x)$  и  $u(e_y)$  могут достигать больше 50% максимальной неопределенности точек извлеченного элемента.

**А. Неопределенность результата измерения отклонений от соосности ЕРС двух ротационных поверхностей относительно общей базовой оси**

Положение общей осей 1 и 2 в плоскости XOY (YOZ) показано на рис. 5. Каждая из осей определяется двумя точками – центрами средних окружностей, соответственно в сечениях 1 и 2 (для оси 1) и 3 и 4 (для оси 2).

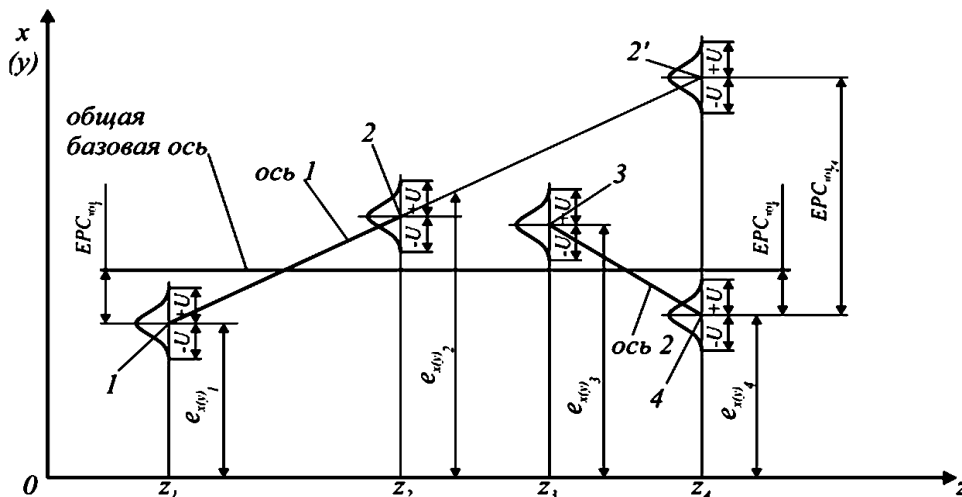


Рис. 5. Положение общей осей 1 и 2 в плоскости XOY (YOZ)

$$u(\text{EPC})_i = \sqrt{u(\text{EPC}_x)_i^2 + u(\text{EPC}_y)_i^2}; \quad (8)$$

$$u(\text{EPC}_x)_i = \sigma_{e_{x_i}}; \quad (9)$$

$$u(\text{EPC}_y)_i = \sigma_{e_{y_i}}; \quad (10)$$

$$u(\text{EPC})_i = \sqrt{\sigma_{e_{x_i}}^2 + \sigma_{e_{y_i}}^2}. \quad (11)$$

**Б. Неопределенность результата измерения отклонений от соосности EPC одной ротационной поверхности относительно другой**

Неопределенность несоосности оси 1 относительно оси 2' определяется неопределенностями точек 2' и 4 в сечении 4.

Неопределенность точки 2', т.е.  $u(\text{EPC})_{2'}$ , зависит от неопределенностей точек 1 и 2 оси 1 и расстояния между соответствующими сечениями, т.е.  $z_2 - z_1$  и  $z_4 - z_1$ .

$$u(\text{EPC})_{2'} = \frac{\sqrt{u(e)_1^2 + (e)_2^2} (z_4 - z_1)}{(z_2 - z_1)}; \quad (12)$$

соответственно в плоскостях XOZ и YOZ

$$u(\text{EPC}_x)_{2'} = \frac{\sqrt{u(e_x)_1^2 + (e_x)_2^2} (z_4 - z_1)}{(z_2 - z_1)}; \quad (13)$$

$$u(\text{EPC}_y)_{2'} = \frac{\sqrt{u(e_y)_1^2 + (e_y)_2^2} (z_4 - z_1)}{(z_2 - z_1)}. \quad (14)$$

Неопределенность отклонения от соосности  $\text{EPC}_{1,2}$  оси 1 относительно оси 2 в сечении 4 определяется выражением:

$$u(\text{EPC})_{1-4} = \sqrt{u(e)_{2'}^2 + u(e)_4^2}; \quad (15)$$

соответственно в плоскостях XOZ и YOZ

$$u(\text{EPC}_x)_{1,4} = \sqrt{u(e_x)_{2'}^2 + u(e_x)_4^2}; \quad (16)$$

$$u(\text{EPC}_y)_{1,4} = \sqrt{u(e_y)_{2'}^2 + u(e_y)_4^2}. \quad (17)$$

**Выводы**

1. Неопределенность оценки отклонения взаимного расположения поверхностей и осей деталей содержит две группы составляющих – составляющие, связанные с реализацией (соответствующего) извлеченного элемента и составляющие, связанные с построением относительно извлеченного элемента соответствующего ассоциированного элемента.

2. Доминирующее влияние на неопределенность измерения отклонения взаимного расположения оказывает вид ассоциированного элемента и число и расположение точек извлеченного элемента, относительно которого строится ассоциированный элемент.

3. Применение средних ассоциированных элементов минимизирует неопределенность измерения отклонения взаимного расположения поверхностей и осей деталей.

4. Оценивание неопределенности измерения отклонения взаимного расположения поверхностей и осей деталей требует конкретный анализ для каждого случая, при котором составляющие и их удельный вес могут варьировать в широких границах.

**Список литературы**

1. Метрология и измерительная техника, т. 1, 2. Под ред. проф. д.т.н. Хр. Радев, София, Софттрейд, 2010.  
 2. Радев Х.К. Неопределенность оценок отклонений формы геометрических элементов / Х.К. Радев, В.Й. Богев, В.А. Василев // Системи обработки информации. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 1(91). – С. 62-66. –ISSN 1681-7210.  
 3. Василев В.А. Изследване на непостоянството на виртуалната базова ос при измерване на отклонения на формата и разположението на ротационни детайли / В.А. Василев, Х.К. Радев, В.Й. Богев, И.Х. Благов // Сборник доклади на националния научен симпозиум с международно участие „Метрология и метрологично осигуряване 2011“ (болг.).

Поступила в редколлегию 16.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**ПРО НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ВЗАЄМНОГО РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ І ОСЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Х.К. Радев, В.Й. Богев, В.А. Василев

Розглядаються основні чинники, що формують невизначеність вимірювання взаємного розташування поверхонь і осей деталей. Акцентується на домінуючу роль складових, пов'язаних з побудовою асоційованого елемента.

**Ключові слова:** невизначеність, відхилення взаємного розташування, витягнутий та асоційований елемент.

**ON THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENT RESULTS OF RELATIVE DISPOSITION OF SURFACES AND AXES OF MACHINE WORK PIECES**

H.K. Radev, V.J. Bogevev, V.A. Vassilev

The main goal of the paper is to discuss the estimation of uncertainty in the measurement of the relative disposition of the surfaces and axes of machine work pieces. The main groups of factors, respectively, components of uncertainty of measurement results have been analyzed.

**Keywords:** uncertainty, relative disposition, extracted and associated feature.