

УДК 389.14

Х.К. Радев, В.Й. Богев, В.А. Василев

Технический Университет, София, Болгария

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОЦЕНОК ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассматривается оценивание неопределенности при измерении отклонений формы геометрических элементов. Анализируются основные группы факторов, соответственно составляющие неопределенности результата измерения.

Ключевые слова: неопределенность, геометрические элементы, отклонение формы.

Введение

Геометрический элемент это обобщенный термин, который в зависимости от соответствующих условий может быть точка линия или поверхность.

В EN ISO 14669-1:1999 рассматриваются следующие виды геометрических элементов (рис. 1).

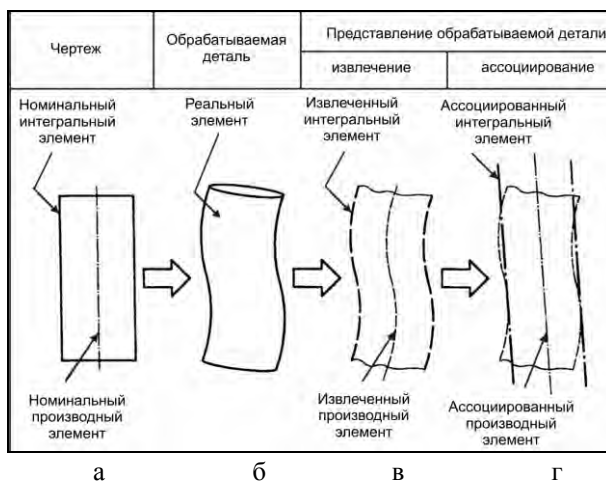


Рис. 1. Взаимная связь определений геометрических элементов

Интегральный элемент – поверхность или линия на поверхности.

Производный элемент – центральная точка, средняя линия или средняя поверхность одного или больше интегральных элементов.

Номинальный интегральный элемент – теоретически точный интегральный элемент, который определен через чертеж или другие средства (рис. 1, а).

Реальный элемент – интегральный элемент, часть реальной поверхности обрабатываемой детали, ограниченный соседними реальными (интегральными) элементами (рис. 1, б). Реальный элемент по природе непознаваем.

Извлеченный интегральный элемент – приблизительное представление реального (интегрального) элемента, полученное извлечением конечного

числа точек реального (интегрального) элемента, проводимое в соответствии с определенными соглашениями (рис. 1, в). Это представление зависит от функции, которую исполняет элемент. Для каждого реального элемента может существовать несколько таких представлений.

Ассоциированный интегральный элемент – интегральный элемент, совершенной формы, ассоциированный с извлеченным элементом определенным способом.

В метрологической практике нашли применение следующие три ассоциированные элементы – ассоциированный элемент минимальной зоны, средний ассоциированный элемент и контактный (прилегающий) ассоциированный элемент [3].

Пример построения различных ассоциированных элементов (окружностей) при оценивании отклонения от круглости ЕФК показан на рис. 2. На рис. 1, г показан средний ассоциированный элемент.

Каждый из ассоциированных элементов имеет свои преимущества и недостатки и вопрос о приоритете одного или другого из них не имеет однозначное решение. Разница в оценках отклонения формы при различных ассоциированных элементах нельзя считать методической погрешностью. Единственным критерием выбора конкретного ассоциированного элемента является функциональное предназначение реального элемента.

Отклонение формы определяется как максимальное расстояние от точек извлеченного элемента до ассоциированного элемента по нормали к ним.

При использовании среднего ассоциированного элемента отклонение формы определяется как сумма абсолютных значений расстояний от двух экстремальных точек извлеченного элемента, расположенных над и под (сверху и снизу) ассоциированного элемента по нормали к ним.

Изложение основного материала

Оценивание неопределенности. Для оценки точности формы поверхностей необходима инфор-

мация об их топографии. Эта информация получается в процессе измерения, в результате которого определяется положение реальных поверхностей и профилей относительно какой-то выходной базы (поверхность, профиль, ось, траектория движения и др.), т.е. реализуется извлеченный элемент (профиль или поверхность) [1]. В отдельных случаях выходная база может совпадать с ассоциированным элементом, в результате чего обработка результатов измерения значительно упрощается.

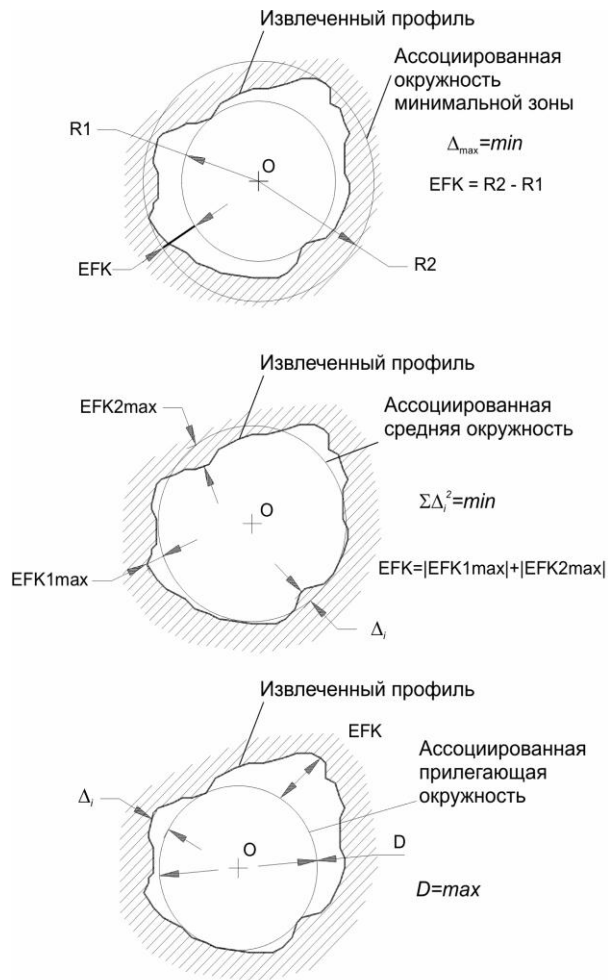


Рис. 2. Виды ассоциированных окружностей для оценивания отклонения от округлости EFK

Как было указано, отклонение формы определяется как максимальное расстояние от точек извлеченного элемента до ассоциированного, т.е. как расстояние между двумя точками – первая, расположенная на извлеченном элементе, а вторая – на ассоциированном элементе.

Отклонение формы можно определить и как разницу между расстояниями от элемента, эквидистантного ассоциированному до двух точек извлеченного элемента максимально и минимально отдаленные от него, или как сумму абсолютных значений расстояний от ассоциированного среднего элемента до две точки извлеченного элемента макси-

мально и минимально отдаленные от ассоциированного элемента и расположенные под и над ним.

Сказанное иллюстрируется рис. 3, где рассматривается определение отклонения от прямолинейности EFL профиля плоской поверхности.

$$EFL = L'_A - L'_B,$$

где L'_A и L'_B это оценки расстояний от экстремальных точек A и B извлеченного профиля до прямой, эквидистантной ассоциированной к извлеченному профилю средней прямой.

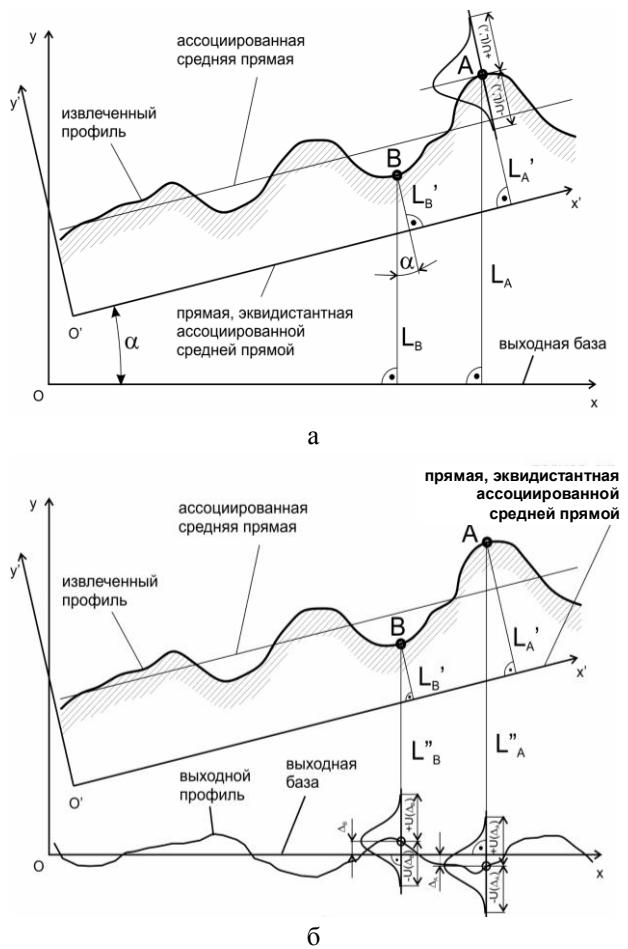


Рис. 3. Реализация извлеченного профиля и оценка его отклонения от прямолинейности

Извлечение профиля реализуется измерением расстояний от точек реального профиля до выходной базы (рис. 3, а). Для точек A и B это расстояния L_A и L_B . Каждое из них имеет свою оценку с соответствующей неопределенностью $U(L_A)$ и $U(L_B)$.

Расстояния L'_A и L'_B соответствуют координатам точек по оси y' координатной системы $X'O'Y'$, абсцисса $O'X'$ которой совпадает с прямой, эквидистантной средней ассоциированной прямой. Неопределенность этих расстояний будет соответственно $u(L'_A)$ и $u(L'_B)$.

Расстояния L_A и L_B соответствуют координатам точек A и B на оси y координатной системы XOY , абсцисса OX которой совпадает с выходной базой.

Так как угол α между абсциссами OX и $O'X'$ соответственно между направлениями, по которым определяются L_A и L_B , и L'_A и L'_B , очень мал, можно принять, что их неопределенности практически совпадают, т.е.:

$$u(L_A) \approx u(L'_A);$$

$$u(L_B) \approx u(L'_B).$$

Тогда неопределенность оценки EFL будет равна:

$$u(EFL) = \sqrt{u^2(L'_A) + u^2(L'_B)} = \sqrt{u^2(L_A) + u^2(L_B)}.$$

Но выходная база тоже имеет отклонение формы, из-за чего расстояния L_A и L_B следует определять относительно ассоциированного с извлеченной выходной базой элемент (рис. 3, б).

В случае, показанном на рис. 3, б, – это ассоциированная средняя прямая. Тогда

$$L_A = L''_A + \Delta_A; \quad L_B = L''_B + \Delta_B,$$

где L''_A и L''_B это расстояния от точек A и B до извлеченного выходного профиля, а Δ_A и Δ_B отклонения формы выходной базы для соответствующих точек.

Отклонения формы выходной базы вносят систематическую погрешность в отклонение формы извлеченного профиля и их можно исключить введением соответствующих поправок. В этом случае неопределенности их оценок $u(\Delta_A)$ и $u(\Delta_B)$ входят в бюджет неопределенности $u(L_A)$ и $u(L_B)$, соответственно в бюджет $u(EFL)$.

В противном случае отклонения формы выходного профиля следует рассматривать как неисключенные систематические погрешности с неопределенностью, оцениваемой по типу В.

К неопределенности расстояний L'_A и L'_B следует добавить и неопределенность, связанную с положением ассоциированного элемента по отношению к извлеченному, т.е. u_{Aac} и u_{Bac} .

В общем случае неопределенность отклонения формы содержит три основные группы составляющих:

- u_1 – неопределенность, связанная с реализацией конкретного извлеченного элемента;
- u_2 – неопределенность, связанная с построением ассоциированного элемента;
- u_3 – неопределенность, связанная с измеряемым объектом.

К **первой** группе относятся

следующие составляющие.

U_{11} – неопределенность, связанная с измерительным прибором (системы);

U_{12} – неопределенность, связанная условиями измерения;

U_{13} – неопределенность, связанная с выходной базой.

Ко **второй** группе относятся составляющие, связанные с обработкой результата измерения, в зависимости от вида ассоциированного элемента и числа и расположения точек, по которым он определяется. Минимальное число точек извлеченного элемента, по которым определяется ассоциированный элемент зависит от вида ассоциированного элемента. Например, две для прямой, три для окружности и плоскости, четыре для сферы, шесть для цилиндра и т.д. Средний ассоциированный элемент определяется по значительно большему числу точек, поэтому можно ожидать меньшая неопределенность его положения.

На рис. 4 положение прилегающей ассоциированной прямой определяется точками B и C извлеченного профиля. Так как B и C лежат на ассоциированной прямой, оценки их расстояний L'_B и L'_C равны нулю с соответствующей неопределенностью $u(L'_B)$ и $u(L'_C)$, т.е.

$$L'_B = 0 \text{ и } u(L'_B) \approx u(L_B) \neq 0;$$

$$L'_C = 0 \text{ и } u(L'_C) \approx u(L_C) \neq 0,$$

где $u(L_B)$ и $u(L_C)$ – неопределенность расстояний точек B и C до выходной базы (см. рис. 3).

Неопределенности точек B_{ac} и C_{ac} ассоцииро-

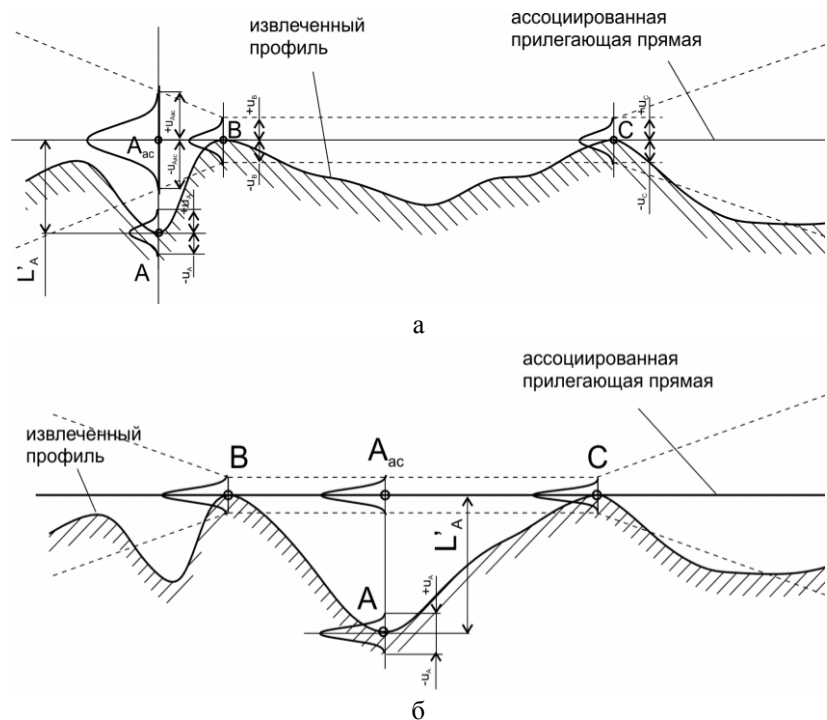


Рис. 4. Оценивание неопределенности, связанной с ассоциированной прилегающей прямой

ванной прямой, соответствующие точкам В и С извлеченного профиля, равны соответственно:

$$u_{Bac} = u(L_A);$$

$$u_{Cac} = u(L_C).$$

Неопределенность точки A_{ac} , соответствующей экстремальной точке А извлеченного профиля зависит от неопределенностей точек B_{ac} и C_{ac} , т.е. от u_{Bac} и u_{Cac} , от расстояния между точками В и С от расположения экстремальной точки А относительно В и С:

$$u(L'_A) = \sqrt{u^2(L_A) + u_{Aac}^2}.$$

Как видно из рис. 4, U_{Aac} сильно отличается при расположении точки А между В и С и вне их.

Когда для определения отклонения формы используется элемент, эквидистантный среднему ассоциированному элементу, он имеет такую же неопределенность положения, как и ассоциированный.

К **третьей группе** относятся составляющие, связанные с числом и расположением измеряемых точек реального элемента и характером его формы.

Влияние числа и расположения измеряемых точек зависит от характера формы измеряемого элемента, т.е. от его гармонического спектра. Оптимальное число этих точек и их расположение можно определить на основании теоремы Найквиста-Котельникова, в соответствии с которой шаг дискретизации должен быть меньше полупериода гармоники самой высокой частоты.

Оценивание неопределенности при измерении отклонения формы требует конкретного анализа для каждого случая, при котором составляющие и их удельный вес неопределенностей в указанных выше группах могут варьировать, не меняя рассмотренный подход.

Например, измерение отклонений формы ротационных деталей (круглость и цилиндричность) кругломерной измерительной системой (рис. 5).

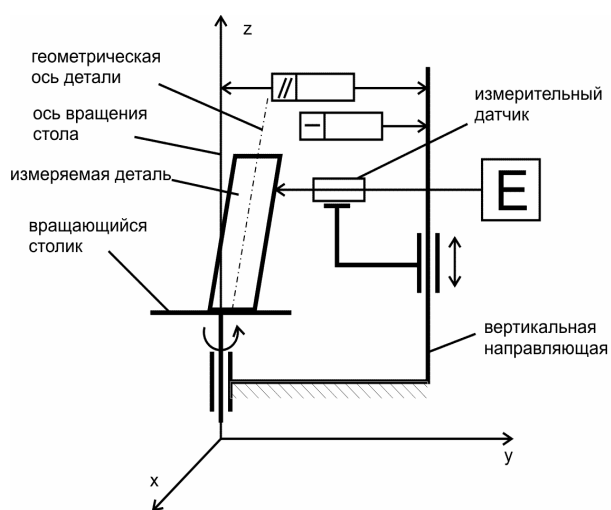


Рис. 5. Кругломерная измерительная система

Измеряемая деталь устанавливается на предметном столе, после чего центрируется и нивелируется до максимального совпадения геометрической оси детали с осью вращения стола. Измерительный преобразователь (датчик) закреплен к каретке, осуществляющей вертикальное перемещение по точной прямолинейной направляющей, номинально параллельной оси вращения стола. Эта ось является выходной базой при реализации извлеченного элемента (круговой профиль или цилиндрическая поверхность).

При измерении отклонения от круглости определяется положение точек реального элемента относительно выходной базы в одном поперечном сечении, а при измерении отклонения от цилиндричности – в n параллельных сечениях.

На рис. 6 показан извлеченный круговой профиль в данном поперечном сечении и определение отклонения от круглости относительно средней ассоциированной окружности (рис. 6, а) и относительно ассоциированной прилегающей окружности (рис. 6, б).

Начало координатной системы XOY т. О лежит на оси вращения предметного стола, т.е. т. О является выходной базой при извлечении кругового профиля.

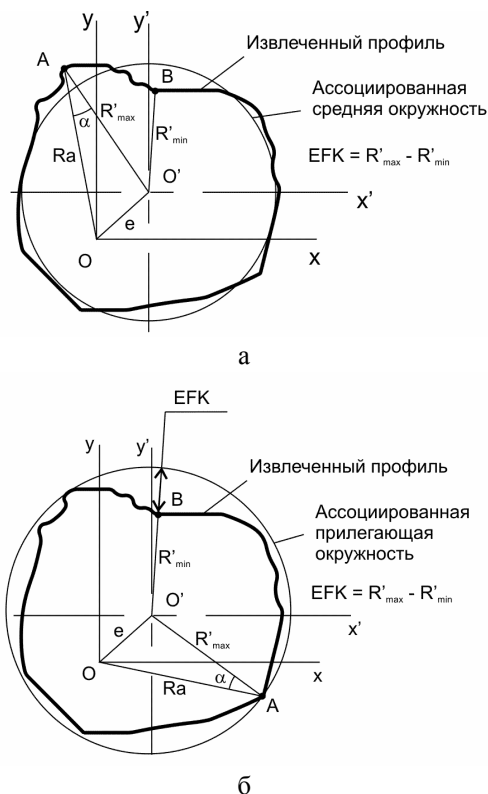


Рис. 6. Определение отклонения от круглости: а – относительно ассоциированной средней окружности; б – относительно ассоциированной прилегающей окружности

Относительно извлеченного профиля по соот-

ветствующим алгоритмам строятся средняя и прилегающая окружности. И в этом случае отклонение формы ЕФК определяется как разница между расстояниями от двух экстремальных точек А и В извлеченного профиля до центра ассоциированной окружности O' , т.е. как разница между двумя радиус-векторами R'_A и R'_B .

Центр ассоциированной окружности располагается в начале координатной системы $X'O'Y'$. Центр ассоциированной окружности можно рассматривать как окружность, эквидистантная ассоциированной, с радиусом, равным нулю:

$$EFK = R'_A - R'_B.$$

И здесь неопределенность отклонения формы формируется теми же тремя группами факторов, соответственно составляющими аналогично рассмотренных при равнинных профилях.

Неопределенность выходной базы определяет блуждающим биением оси вращения стола. При измерении отклонения от цилиндричности первая группа включает и составляющую, связанную с непрямолинейностью вертикальной направляющей и ее параллельностью относительно оси вращения.

Выводы

1. Для оценки точности формы геометрических элементов необходима предварительная информация об их топографии. Эта информация получается в процессе измерения, в результате чего определяется положение реальных поверхностей и профилей, т.е. реализуется извлеченный элемент (поверхность или профиль).

2. Оценивание отклонения формы геометрического элемента сводится к определению разницы между расстояниями двух экстремальных точек извлеченного элемента до ассоциированного эле-

мента или до эквидистантного к нему элемента по нормали к нему.

3. Неопределенность оценки отклонения формы формируется тремя группами факторов (составляющих), связанных с реализацией извлеченного элемента, построением ассоциированного элемента и объектом измерения.

К первой группе относятся составляющие неопределенности, связанные с измерительным прибором, условиями измерения и выходной базой.

Ко второй группе относятся составляющие неопределенности, связанные с обработкой результатов измерения, в зависимости от вида ассоциированного элемента и числа и расположения точек по которым он определяется.

4. Оценивание неопределенности измерения отклонения формы требует конкретного анализа каждого случая, при котором составляющие и относительный вес неопределенности в указанных трех группах может варьировать, не изменяя рассмотренный подход для ее определения.

Список литературы

1. Метрология и измерительная техника: т. 1 и 2 / Под ред. проф. д.т.н. Хр. Радев. – София: Софттрейд, 2010.
2. ISO 14660-1:1999. Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical features – Part 1: General terms and definitions.
3. Geometrical Product Specification Course for Technical University. Lehrstuhl QFM 2001, ISBN 3-980 59 11-66.

Поступила в редколлегию 28.12.2010

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

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ОЦІНОК ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ГЕОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Х.К. Радев, В.Й. Боев, В.А. Василев

Розглядається оцінювання невизначеності при вимірюванні відхилень форми геометричних елементів. Аналізуються основні групи чинників, відповідно складові невизначеності результату вимірювання.

Ключові слова: невизначеність, геометричні елементи, відхилення форми.

UNCERTAINTY OF ESTIMATES OF DEVIATIONS OF THE FORM OF GEOMETRIC ELEMENTS

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

The main goal of the paper is to discuss the estimation of uncertainty in the measurement of deviations of the form of geometric features. The main groups of factors, respectively, components of uncertainty of measurement results have been analyzed.

Keywords: uncertainty, geometric feature, form deviation.