

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ

Спесивцева Ю. Б., Лужинская А. И.

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Измерительные размерные цепи позволяют рассчитать погрешность измерения и распределить требуемую точность между источниками. Наиболее сложной для анализа является инструментальная составляющая погрешности при использовании контрольных приспособлений. Пример такого расчета рассмотрен в работе.

**Ключевые слова:** измерительная размерная цепь, контрольное приспособление, погрешность измерения.

## METHODOLOGY FOR CALCULATING A MEASUREMENT DIMENSIONAL CHAIN

Spesivtseva Y., Luzhinskaya A.

Belarusian National Technical University,  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Measuring dimensional chains allow for the calculation of measurement error and the distribution of the required accuracy among the sources. The most complex part of the analysis is the instrumental component of the error when using control devices. An example of such a calculation is presented in the paper.

**Keywords:** measurement dimensional chain, control device, measurement error.

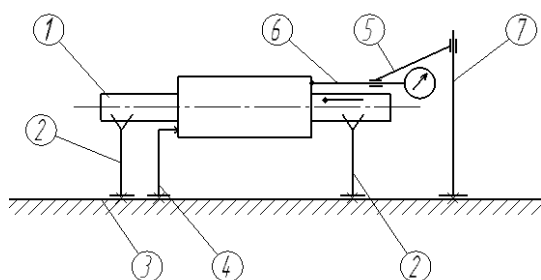
Адрес для переписки: Спесивцева Ю. Б., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: spesivtseva@bntu.by

Размерные цепи широко используются при проектировании изделий и технологических процессов, тогда как измерительные размерные цепи в настоящее время не нашли широкого применения.

Целью работы является апробация методики обеспечения требуемой точности измерения путем составления и расчета измерительной размерной цепи, построенной с помощью метрологического моделирования измерительного контроля на уровне схемы [1].

Контролируемым параметром является торцовое биение детали гильза, имеющей форму тонкостенной трубы, с допуском 200 мкм.

Допустимая погрешность измерения составляет 1/3 допуска на параметр:  $[\Delta] = 66,7$  мкм. Схема контроля торцового биения представлена на рисунке 1.



1 – оправка разжимная; 2 – призмы; 3 – плита; 4 – упор; 5 – кронштейн; 6 – прибор; 7 – стойка

Рисунок 1 – Схема контроля торцового биения

Погрешность измерения  $\Delta$  образуется в результате объединения составляющих:

инструментальной  $\Delta_{\text{си}}$ , методической  $\Delta_{\text{м}}$ , отличия условий измерения от нормальных  $\Delta_{\text{у}}$ , субъективной  $\Delta_{\text{оп}}$ . При измерении используется индикатор рычажно-зубчатый ИРБ с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0,8 мм при измерении биения. Погрешность, вносимую оператором, примем равной половине цены деления шкалы прибора  $\Delta_{\text{оп}} = 0,005$  мм.

Методическая погрешность, возникающая из-за идеализации объекта измерения (отклонение формы отверстия от цилиндричности) не учитывается, т.к. используется разжимная оправка и погрешность будет второго порядка малости.

Наибольший вклад в погрешность измерения вносит прибор и базирующее приспособление.

Определим допустимое значение инструментальной составляющей погрешности измерения:

$$[\Delta_{\text{присп}}] = \sqrt{\Delta^2 - \Delta_{\text{оп}}^2 - \Delta_{\text{м}}^2 - \Delta_{\text{у}}^2 - \Delta_{\text{инд}}^2}$$

$$[\Delta_{\text{присп}}] = 49,4 \text{ мкм}$$

Погрешность базирующего приспособления является комплексной и включает в себя следующие составляющие:

- 1) перекося индикатора 6 в отверстии кронштейна 5 в пределах зазора;
- 2) перекося отверстия кронштейна 5 относительно стойки 7 в пределах зазора;
- 3) отклонение от прямолинейности стойки 7;
- 4) отклонение от перпендикулярности стойки 7 и плиты 3;
- 5) отклонение от плоскости плиты 3;
- 6) разновысотность призм;

7) разница диаметров базисуемых поверхностей оправки;

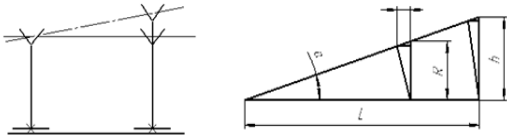
8) отклонение профиля поперечного сечения базисуемых поверхностей оправки;

9) отклонение от соосности базисуемых поверхностей оправки.

Первые пять составляющих погрешности не учитываются, т. к. измерения проводятся без вспомогательных перемещений в процессе измерения.

Погрешность, вызванная разновысотностью призм рассчитывается с помощью схемы на рисунке 2:

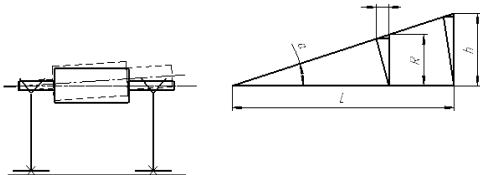
$$\Delta = \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot h = \left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{0,120}{120}\right)^2 \cdot 19,5 = 0,02 \text{ мкм.}$$



$l$  – расстояние между призмами;  $h$  – допуск на размер (высота призм 50...80 мм, 10 квалитет);  $R$  – радиус детали

Рисунок 2 – Схема для расчета погрешности, вызванной разновысотностью призм

Погрешность, вызванная разницей диаметров базисуемых поверхностей оправки, так же включает в себя погрешность из-за отклонений профиля продольного сечения базисуемых поверхностей оправки, когда одна поверхность имеет седлообразную форму, а вторая бочкообразную. Рассчитывается аналогично предыдущей составляющей (рисунок 3).



$l$  – расстояние между призмами;  $h$  – допуск на размер (диаметр оправки 15 мм, 8 квалитет точности);  $R$  – радиус детали

Рисунок 3 – Схема для расчета погрешности, вызванной разницей диаметров базисуемых поверхностей оправки:

$$\Delta = \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot R = \left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{0,072}{120}\right)^2 \cdot 19,5 = 0,007 \text{ мкм.}$$

При расчете значения погрешности, вызванной отклонением профиля поперечного сечения базисуемых поверхностей оправки, рассматривается два случая:

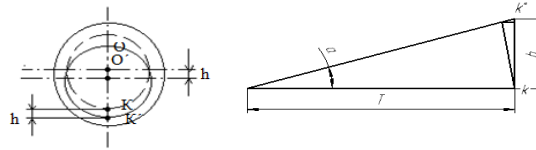
- только одна из базисуемых поверхностей имеет отклонение от круглости;
- обе базисуемые поверхности имеют отклонение от круглости.

В первом случае овальность вызывает перекокс оси детали на величину овальности:

$$h = d_{\max} - d_{\min} = 0,072 \text{ мм,}$$

$$\Delta = \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot R = \left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{0,072}{120}\right)^2 \cdot 19 = 0,007 \text{ мкм.}$$

Второй случай (рисунок 4) приводит к смещению оси окружности, по которой осуществляется измерения торцового биения. Смещение происходит на величину овальности:  $h = 0,072$  мм. Эту погрешность можно представить как перекокс наконечника на некоторый угол  $\gamma$ , из-за чего он при измерении может сместиться из точки  $k$  в точку  $k'$ .



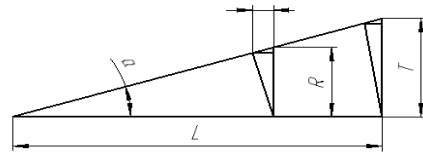
$h$  – смещение оси;  $T$  – допуск торцового биения

Рисунок 4 – Схема для расчета погрешности, вызванной отклонением профиля от круглости базисуемых поверхностей оправки

$$\Delta = \operatorname{tg} \alpha \cdot h = \frac{h}{T} \cdot h = \frac{0,072^2}{200} = 26 \text{ мкм,}$$

где  $T$  – допуск торцового биения.

Погрешность, вызванная отклонением от соосности базисуемых поверхностей оправки, рассчитывается по схеме рисунка 5.



$l$  – длина оправки;  $T$  – допуск соосности

Рисунок 5 – Схема для расчета погрешности, вызванной отклонением от соосности базисуемых поверхностей оправки

$$\Delta = \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot R = T/l^2 \cdot R = 0,031502 \cdot 19,5 = 0,0008 \text{ мкм.}$$

Погрешность базисуемого приспособления:

$$\Delta_{\text{присп}} = \sqrt{(\Delta_6)^2 + (\Delta_7)^2 + (\Delta_8)^2 + (\Delta_9)^2} = 28,03 \text{ мкм,}$$

$$[\Delta_{\text{присп}}] > \Delta_{\text{присп}}$$

Результат расчета подтверждает, что контрольное приспособление, спроектированное на основе рассмотренной схемы, будет обеспечивать требуемую точность измерения.

#### Литература

1. Цитович, Б. В. Метрологическая экспертиза и нормоконтроль: учеб.-методич. пособие / Б. В. Цитович, Н. А. Воробьев, М. С Капица. – Минск: БГАТУ, 2015. – 340 с.