

УДК 519.222:006.9

Е.С. Сырков

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
e-mail: cotcin@mail.ru

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ВАЛА

Ye.S. Syrkov

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: cotcin@mail.ru

ESTIMATION OF METHODOLOGICAL UNCERTAINTY OF MEASURING OF SUPERFICIAL REJECTIONS OF A SHAFT

Дана оценка методических неопределенностей измерения отклонения от круглости вала. Используется имитационное моделирование. В программной среде КОМПАС-3D моделируется контур сечения и производится контроль текущего размера. В строках и столбцах электронной таблицы вносятся полученные отклонения и рассчитываются отклонения от округлости вала в сечении. Методика предназначена для обучения магистров (технологов и метрологов), а также для исследований.

Ключевые слова: вал, сечение, неопределенность, погрешность, отклонение, эксцентриситет, огранка, овальность

Постановка проблемы. В настоящее время остаются актуальными проблемы технологического обеспечения качества выпускаемой продукции, а также ее контроль. Контроль представляет собой метод измерений, под которым понимают логическую последовательность операций, описанную в общей форме и используемую при выполнении измерений. Несоввершенство метода измерения приводит к возникновению методических погрешностей. Их отличительной особенностью является то, что они могут быть определены лишь путем создания математической модели или имитационным моделированием измеряемого объекта. После создания такой модели и определения ее параметров, можно оценить методическую погрешность измерения, по своему характеру – систематическую. Оценка методической погрешности может быть использована в качестве поправки к результату измерения. Исправленный результат измерения отягощен не исключенным остатком систематической погрешности (НОСП), обусловленным погрешностями определения параметров модели. Стандартное отклонение НОСП является оценкой методической неопределенности [1].

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время обоснованию выбора точности измерения и контроля гладких сопряжений посвящено множество работ, например [2, 4]. В паспортах современных кругломеров, таких как „Абрис К-11“ [3],

„Талиронд 365“ [5], при указании погрешности прибора в процентах не ясно, какую погрешность они имеют в виду – инструментальную или методическую. В работах [1, 3] предложена методика математического моделирования, которая предусматривает имитационное моделирование и расчет методических неопределенностей.

Формулирование цели. Представляет теоретический и практический интерес получение оценки методической неопределенности. В настоящей статье определены погрешности измерений, обусловленные отличием принятой физической модели объекта измерений от модели, адекватно отражающей его свойства, определяемые путем измерений и влиянием алгоритмов (формул) вычислений измерений (при косвенных измерениях), а также влияний других факторов.

Изложение основного материала. Неопределенности, возникающие при аппроксимации и упрощениях в методе измерения и/или измерительной процедуре.

К таким неопределенностям относятся неопределенности косвенных измерений, обусловленные упрощением связи между измеряемой величиной и ее аргументами, измеряемыми с помощью прямых измерений. Для исследования данной неопределенности смоделируем контур поперечного сечения $\varnothing 100\text{к}6$ в программе КОМПАС-3D и сместим центр вращения на величину эксцентриситета $e = 5$ мм (рис. 1).

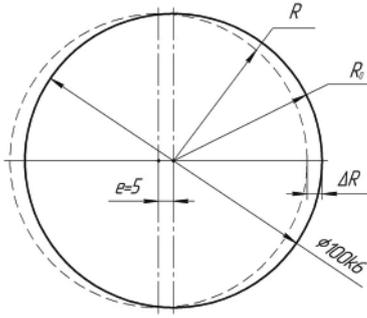


Рис. 1. Схема измерения отклонения текущего размера ΔR

На полученной схеме контролируется отклонение ΔR при повороте профиля поперечного сечения на угол ϕ_k , относительно смещенного центра. Отклонение ΔR текущего значения R выражается зависимостью [6, стр. 171]

$$\Delta R = R - R_0,$$

где R – текущий размер, мм; R_0 – номинальный (постоянный) размер, мм.

Уравнение для определения эксцентриситета, овальности, огранки имеет общий вид (1). Оно является уравнением косвенного измерения и получено аппроксимацией путем разложения в ряд Фурье [6, стр. 172]

$$B_k = c_k \cdot \cos(k\phi + \phi_k), \quad (1)$$

где $k=1,2,3$.

Поскольку

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2},$$

где a_k, b_k – коэффициенты Фурье,

$$\phi_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}.$$

Тогда уравнение (1) в общей форме примет следующий вид

$$B_k = f(a_k, b_k) = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \cdot \cos(k\phi + \arctg \frac{b_k}{a_k}). \quad (2)$$

Рассматривая выражение (2) как уравнение косвенных измерений, с учетом отсутствия корреляции между погрешностями – a_k, b_k , можно записать выражение для неопределенности как

$$u(B) = \sqrt{c_{ak}^2 u_{ak}^2 + c_{bk}^2 u_{bk}^2}, \quad (3)$$

где

$$c_{ak} = \frac{dB}{da_k} = \frac{a_k \cdot \cos(2\phi + \arctg(\frac{b_k}{a_k}))}{\sqrt{a_k^2 + b_k^2}} + \frac{b_k \cdot \sin(2\phi + \arctg(\frac{b_k}{a_k})) \cdot \sqrt{a_k^2 + b_k^2}}{a_k^2 \cdot (\frac{b_k^2}{a_k^2} + 1)}; \quad (4)$$

$$c_{bk} = \frac{dB}{db_k} = \frac{b_k \cdot \cos(2\phi + \arctg(\frac{b_k}{a_k}))}{\sqrt{a_k^2 + b_k^2}} + \frac{\sin(2\phi + \arctg(\frac{b_k}{a_k})) \cdot \sqrt{a_k^2 + b_k^2}}{a_k^2 \cdot (\frac{b_k^2}{a_k^2} + 1)}; \quad (5)$$

где u_{ak} – неопределенность оценки коэффициента a_k ; u_{bk} – неопределенность оценки коэффициента b_k .

Значения коэффициентов a_k, b_k известны приближенно, в пределах некоторых границ [$a_k \min$; $a_k \max$] и [$b_k \min$; $b_k \max$]. Считая все значения внутри указанных границ равновероятными, получена оценка неопределенности для обоих случаев

$$u_{ak} = (a_k \min - a_k \max) / \sqrt{12} = \Delta a_k / \sqrt{12}; \quad (6)$$

$$u_{bk} = (b_k \min - b_k \max) / \sqrt{12} = \Delta b_k / \sqrt{12}. \quad (7)$$

Таким образом, подставляя (4), (5), (6), (7) в (3), стандартная неопределенность $u(B_k)$ будет равна

$$u(B_k) = \frac{12}{c_k} [6 \cdot (\Delta c_k^2 \cdot c_k^2 + \cos(2k\phi + 2\arctg \frac{b_k}{a_k}) \cdot (a_k^2 \cdot (\Delta a_k^2 - \Delta b_k^2) - b_k^2 \cdot \Delta c_k^2) + 2 \cdot a_k \cdot b_k \cdot \sin(2k\phi + 2\arctg \frac{b_k}{a_k}) \cdot (\Delta a_k^2 - \Delta b_k^2)]^{1/2},$$

где

$$\Delta c_k = \sqrt{\Delta a_k^2 + \Delta b_k^2}.$$

Для вычисления по формуле (2) используются значения a_k, b_k , которые получены численным интегрированием по следующим выражениям

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \Delta R_i \cdot \cos k\phi_i;$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \Delta R_i \cdot \sin k\phi_i.$$

Опытным путем (рис. 2) определяется зависимость стандартной неопределенности $u(B_k)$ от количества значений n .

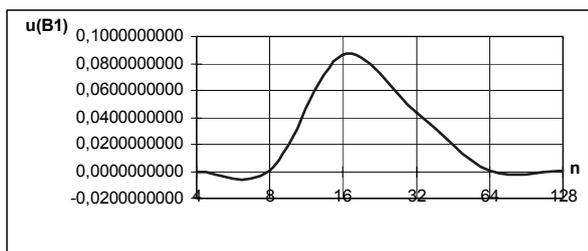


Рис. 2. Зависимость стандартной неопределенности величины эксцентриситета $u(B_1)$ от количества значений n

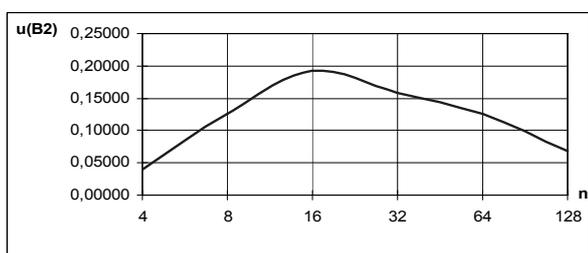


Рис. 3. Зависимость стандартной неопределенности величины овальности $u(B_2)$ от количества значений n

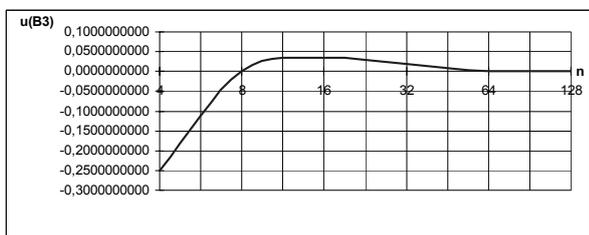


Рис. 4. Зависимость стандартной неопределенности величины огранки $u(B_3)$ от количества значений n

Значения $u(B_k)$ могут принимать случайные положительные и отрицательные значения, отклоняясь от положения равновесия в зависимости от количества значений n , участвующих в расчете, и других факторов. Чем больше значений n , тем точнее результат.

Неопределенность алгоритма обработки результатов измерений. В рассматриваемом методе предусмотрены вычисления значения элементарной функции путем разложения в ряд. Поэтому результаты измерений отягощены соответствующими погрешностями. Квадратный корень из дисперсии (стандартное отклонение) этих погрешностей является оценкой неопределенности используемого алгоритма обработки.

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}$$

где n – количество проведенных опытов (вычислений); x – искомая величина; $\langle x \rangle$ – среднеарифметическое значение искомой величины.

Неопределенности, обусловленные недостатком технологии изготовления или конструкции средств измерительной техники (СИТ). К таким неопределенностям приводят неравенство плеч у весов, неудовлетворительная подгонка мер, люфт микрометрических винтов и т.д. В нашем случае эта неопределенность возникает из-за конструктивного несовпадения оси измеряемой детали с осью СИТ [1].

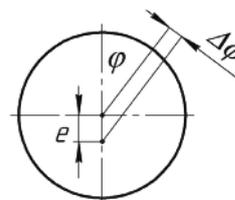


Рис. 5. Погрешность, обусловленная эксцентриситетом

Эта погрешность — периодическая, изменяющаяся по синусоидальному закону

$$\Delta\varphi = e \cdot \sin\varphi,$$

где e – смещение центра измеряемой окружности (эксцентриситет); φ – угол поворота сечения измеряемого вала.

Стандартное отклонение этой погрешности

$$\sigma(\Delta\varphi) = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (e \cdot \sin\varphi)^2 d\varphi} = \frac{e}{\sqrt{2}}.$$

Выводы. Показано, что при определении отклонений от округлости выбранного профиля сечения вала, необходимо указывать, чем вызвана данная неопределенность, является ли она методической или инструментальной. А также необходимо учитывать методическую неопределенность непосредственно рассчитанного или измеренного результата.

Список литературы / References

1. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учеб. Пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш – Харьков, Консум, 2002 – 256 с. – ISBN 966-7920-24-0.
Zakharov I.P. A theory of vagueness in measuring: tutorial / I.P. Zakharov, V.D. Kukush – Kharkov, Konsum, 2002 – 256 p. – ISBN 966-7920-24-0.
2. Взаимозаменяемость и технические измерения / [Б.С. Балакшин, С.С. Волосов, И.В. Дунин-Барковский и др.] – М.: Машиностроение, 1972. – 616 с.
Interchangeability and technical measuring / [B.S. Balakshyn, S.S. Volosov, I.V. Dunin-Barkovskiy et al.] – M.: Mashynostroyeniye, 1972. – 616 p.
3. <http://www.pkomplekt.ru/catps.69.htm>
4. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние. 1983. Ч.2. 448 с.

Tolerances and fit. Reference book. In 2 parts / V.D. Miagkov, M.A. Paley, A.B. Romanov, V.A. Bragin-skiy. 6th publ. processed and complemented L.: Mashynostroyeniye, Leningrad Department. 1983. Part 2. 448 p.

5. <http://www.koda.ua/products/desc.html?id=675>

6. А.И. Якушев. Учебник для вузов / А.И. Якушев, Л.Н. Во-ронцов, Н.М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.: ил.

A.I. Yakushev. Higher school textbook / A.I. Yakushev, L.N. Vorontsov, N.M. Fedotov. – 6th publ. processed and complemented – M.: Mashynostroyeniye, 1987. – 352 p.: illustrated.

Дана оцінка методичних невизначеностей виміру відхилення від округлості вала. Використовується імітаційне моделювання. У програмному середовищі КОМПАС-3D моделюється контур перетину й проводиться контроль поточного розміру. У рядках і стовпцях електронної таблиці вносяться отримані відхилення й розраховуються відхилення від округлості вала в

перетині. Методика призначена для навчання магістрів (технологів і метрологів), а також для досліджень.

Ключові слова: вал, перетин, невизначеність, погіршеність, відхилення, ексцентриситет, огранювання, овальність

Estimation of the methodological uncertainties in measuring the deviation from the roundness of the shaft is carried out. Simulation technique is used. In the software environment of KOMPAS-3D outline of section is simulated and size now is examined. In the rows and columns of the spreadsheet obtained deviations are filled in and the deviations from the roundness of the shaft at the section are calculated. The method is designed to teach students (speciality of technology and metrology), and for research.

Keywords: shaft, cross section, uncertainty, error, deviation, eccentricity, cut, oval

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Р.П. Дідиком. Дата надходження рукопису 27.01.11

УДК 622.673.1

**К.С. Заболотний, д-р. техн. наук, проф.,
О.В. Панченко, канд. техн. наук,
О.Л. Жупієв**

Державний вищий навчальний заклад
„Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ,
Україна, e-mail: helean_@ua.fm

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ НА КРУЧЕННЯ ГУМОТРОСОВИХ КАНАТІВ БОБІННИХ ПІДЙОМНИКІВ

**K.S. Zabolotnyi, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
O.V. Panchenko, Cand. Sci. (Tech.),
O.L. Zhupiev**

State Higher Educational Institution “National Mining
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: helean_@ua.fm

SCIENTIFIC RESEARCH OF TORSIONAL HARDNESS OF RUBBER-ROPE CABLE OF BOBBIN HOIST

Викладено методику наукових досліджень, спрямованих на вдосконалення методу розрахунку силових факторів у витках багатошарової намотки гумотросових канатів бобінних підйомників, в якому враховано відсутність поздовжнього стиснення каната та залежність жорсткісних характеристик шарів від параметрів багатошарової намотки. Показано, що жорсткість на крутіння для заданих геометричних параметрів гумотросового каната може бути визначено за допомогою апроксимуючого полінома.

Ключові слова: гумотросовий канат, багатошарова намотка, тіло намотки, жорсткість каната на крутіння, бобінна піднімальна машина

Стан питання і постановка завдання. У роботах Л.В. Колосова і М.В. Полушиної [1–2] досліджувалася крутильна жорсткість бобінної намотки гумотросового каната (ГТК) в припущенні плоско-напруженого стану методом скінченних елементів з урахуванням спіральності намотки та припущеннями:

1) шари каната працюють спільно без проковзування;

2) реальна конструкція тіла намотки представлена у вигляді послідовності спіральних шарів постійної товщини відповідних за жорсткісними характеристиками тросам і гумовій матриці;

3) гумова матриця працює в області лінійної деформації;

4) поведінка гумової матриці аналогічна поведінці гуми в стикових з'єднаннях ГТК.

У результаті чисельних експериментів для невеликого числа шарів тіла намотки (до 20) було виявлено два типи його поведінки. Для жорсткості троса, порівнянного із жорсткістю гумової матриці, деформації локалізовані в області сходу каната з бобіни. При цьому окружні та радіальні переміщення одного порядку. В області реальних значень жорсткості троса тіло намотки працює як суцільне пружне тіло зі збільшеним модулем зсуву в порівнянні з модулем зсуву гуми на коефіцієнт, що залежить від t/d і h/d (тут d – діаметр троса, t – крок троса, h – товщина каната), при навантаженні його скручуючим моментом.