

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 7011-9:2013

ISO/TR 230-9:2005

Xuất bản lần 1

**QUI TẮC KIỂM MÁY CÔNG CỤ –
PHẦN 9: ƯỚC LƯỢNG ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO CHO
CÁC PHÉP KIỂM MÁY CÔNG CỤ THEO BỘ
TCVN 7011 (ISO 230), CÔNG THỨC CƠ BẢN**

Test code for machine tools –

*Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to
series ISO 230, basic equations*

HÀ NỘI - 2013

Lời nói đầu

TCVN 7011-9:2013 hoàn toàn tương đương với ISO/TR 230-9:2005.

TCVN 7011-9:2013 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 39 Máy công cụ biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 7011 (ISO 230) *Qui tắc kiểm máy công cụ* bao gồm các phần sau:

- TCVN 7011-1:2007 (ISO 230-1:1996) *Phần 1: Độ chính xác hình học của máy khi vận hành trong điều kiện không tải hoặc gia công tinh;*
- TCVN 7011-2:2007 (ISO 230-2:1997) *Phần 2: Xác định độ chính xác và khả năng lặp lại định vị của trục điều khiển số;*
- TCVN 7011-3:2007 (ISO 230-3:2001) *Phần 3: Xác định các ảnh hưởng nhiệt;*
- TCVN 7011-4:2013 (ISO 230-4:2005) *Phần 4: Kiểm độ tròn cho máy công cụ điều khiển số;*
- TCVN 7011-5:2007 (ISO 230-5:2000) *Phần 5: Xác định tiếng ồn do máy phát ra;*
- TCVN 7011-6:2007 (ISO 230-6:2002) *Phần 6: Xác định độ chính xác định vị theo các đường chéo khối và đường chéo bề mặt (Kiểm sự dịch chuyển theo đường chéo);*
- TCVN 7011-7:2013 (ISO 230-7:2006) *Phần 7: Độ chính xác hình học của các trục tâm của chuyển động quay;*
- TCVN 7011-8:2013 (ISO/TR 230-8:2010) *Phần 8: Rung động;*
- TCVN 7011-9:2013 (ISO/TR 230-9:2005) *Phần 9: Ước lượng độ không đảm bảo đo cho các phép kiểm máy công cụ theo bộ TCVN 7011 (ISO 230), công thức cơ bản.*

Bộ ISO 230 *Qui tắc kiểm máy công cụ* còn có các phần sau:

- ISO 230-10:2011 *Part 10: Determination of the measuring performance of probing systems of numerically controlled machine tools;*
- ISO/WD TR 230-11 *Part 11: Measuring instruments and their application to machine tool geometry.*

Qui tắc kiểm máy công cụ –

Phần 9: Ước lượng độ không đảm bảo đo cho các phép kiểm máy công cụ theo bộ TCVN 7011 (ISO 230), công thức cơ bản

Test code for machine tools –

Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to series ISO 230, basic equations

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này cung cấp thông tin về ước lượng có thể có của độ không đảm bảo đo cho các phép đo theo TCVN 7011 (ISO 230).

Các phương pháp được mô tả trong tiêu chuẩn này hướng cho sử dụng thực tế; do đó, các độ không đảm bảo chuẩn chủ yếu được đánh giá bằng kiểu đánh giá B (xem Điều 4 và GUM).

Có thể sử dụng các phương pháp khác tuân theo GUM.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi (nếu có).

TCVN 7011-2 (ISO 230-2) *Qui tắc kiểm máy công cụ - Phần 2: Xác định độ chính xác và khả năng lặp lại định vị của trục điều khiển số;*

ISO/TR 16015:2003 *Geometrical product specifications (GPS) – Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences (Yêu cầu đặc tính hình học của sản phẩm (GPS) – Sai số hệ thống và các thành phần của độ không đảm bảo đo của phép đo chiều dài do các ảnh hưởng của nhiệt);*

ISO/TS 14253-2 *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (Yêu cầu đặc tính hình*

TCVN 7011-9:2013

học của sản phẩm – Kiểm tra bằng phép đo chi tiết gia công và thiết bị đo – Phần 2: Hướng dẫn để ước lượng độ không đảm bảo trong phép đo GPS, trong việc hiệu chuẩn thiết bị đo và kiểm định sản phẩm);

Guide to the expression of uncertainty in measurement, (GUM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1st edition, 1993, corrected and reprinted in 1995 (*Hướng dẫn thể hiện độ không đảm bảo trong phép đo* (GUM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML xuất bản lần 1 năm 1993, được hiệu chỉnh và in lại năm 1995).

3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong TCVN 7011-2 (ISO 230-2) và GUM.

4 Ước lượng độ không đảm bảo đo U

Ước lượng độ không đảm bảo đo, U , theo GUM, ISO/TS 14253-2 và ISO/TR 16015.

Các thành phần riêng lẻ của độ không đảm bảo đo phải được nhận biết và thể hiện như là các độ không đảm bảo chuẩn, u_i .

Độ không đảm bảo chuẩn kết hợp, u_c , được tính theo công thức (1):

$$u_c = \sqrt{u_r + \sum u_i^2} \quad (1)$$

Trong đó:

u_c là độ không đảm bảo chuẩn kết hợp, tính bằng micrômét (μm);

u_r là tổng của các thành phần tương hỗ tăng mạnh, xem công thức (2), tính bằng micrômét (μm);

u_i là độ không đảm bảo chuẩn của thành phần không tương hỗ thứ i , tính bằng micrômét (μm);

$$u_r = \sum u_j \quad (2)$$

Trong đó u_j là độ không đảm bảo chuẩn của các thành phần tương hỗ tăng mạnh, tính bằng micrômét (μm).

Độ không đảm bảo đo U được tính theo công thức (3), trong đó hệ số bao phủ k được lấy bằng 2.

$$U = k \cdot u_c \quad (3)$$

Trong đó:

U là độ không đảm bảo đo, tính bằng micrômét (μm);

k là hệ số bao phủ, $k = 2$

u_c là độ không đảm bảo chuẩn kết hợp, tính bằng micrômét (μm);

Độ không đảm bảo chuẩn u_i nhận được bằng cách phân tích thống kê dữ liệu thực nghiệm (kiểu đánh

giá A) hoặc bằng các phương pháp khác, như giả định khoa học, giả định theo kinh nghiệm và giả định theo sự hiểu biết (kiểu đánh giá B).

Nếu ước lượng đưa ra một dải có thể $\pm a$ hoặc $(a^+ - a^-)$ của một thành phần, khi đó độ không đảm bảo chuẩn u_i được tính theo công thức (4), giả thiết phân bố chữ nhật.

$$u_i = \frac{a^+ - a^-}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

Trong đó:

u_i là độ không đảm bảo chuẩn;

a^+ là giới hạn trên của phân bố chữ nhật;

a^- là giới hạn dưới của phân bố chữ nhật.

5 Ước lượng độ không đảm bảo của các thông số, các công thức cơ bản

Trong Điều 4, sử dụng phương pháp hộp đen cho ước lượng độ không đảm bảo. Đối với các thông số được tính toán từ các phép đo riêng biệt, từ các giá trị trung bình, từ các bội số của sai lệch chuẩn, và/hoặc tổng của chúng, ước lượng độ không đảm bảo nhận được bằng cách sử dụng phương pháp hộp trong suốt. Độ chính xác định vị, khả năng lặp lại và giá trị đảo chiều là các thông số như vậy. Có thể được viết một cách tổng quát là:

$$Y = f(X_i) \quad (5)$$

Trong đó:

Y là thông số (như khả năng lặp lại, giá trị đảo chiều, độ chính xác định vị);

X_i là giá trị đo thứ i.

Khi đó độ không đảm bảo chuẩn kết hợp u_c được tính theo công thức (6):

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + \sum \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot u_{X_i} \right)^2} \quad (6)$$

Trong đó:

u_c là độ không đảm bảo chuẩn kết hợp;

u_r là tổng của các thành phần tương hỗ tăng mạnh, xem công thức (7);

u_{X_i} là độ không đảm bảo chuẩn của thành phần không tương hỗ thứ i.

$$u_r = \sum \frac{\partial Y}{\partial X_j} \cdot u_{X_j} \quad (7)$$

Trong đó u_{X_j} là độ không đảm bảo chuẩn của thành phần tương hỗ tăng mạnh thứ j.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Độ không đảm bảo đo của giá trị trung bình

A.1 Quy định chung

Giá trị trung bình được định nghĩa bởi

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A.1})$$

Trong đó:

\bar{x} là giá trị trung bình;

x_i là giá trị đo thứ i ;

n là số lần đo.

Nếu giá trị trung bình được tính từ các giá trị đo x_i , có độ không đảm bảo đo u_{x_i} , khi đó giá trị trung bình cũng có một độ không đảm bảo.

A.2 Tính toán độ không đảm bảo đo của giá trị trung bình, $u(\bar{x})$

A.2.1 Tổng quan

Độ không đảm bảo đo của giá trị trung bình $u(\bar{x})$ phụ thuộc vào mối tương hỗ giữa các độ không đảm bảo của các đại lượng đo riêng lẻ u_{x_i} .

A.2.2 Độ không đảm bảo của giá trị trung bình $u(\bar{x})$ đối với độ không đảm bảo tương hỗ tăng mạnh u_{x_j}

Nếu các độ không đảm bảo của các đại lượng đo đơn u_{x_j} là tương hỗ tăng mạnh, các ảnh hưởng của chúng đối với độ không đảm bảo của giá trị trung bình $u(\bar{x})$ được lấy tổng đơn giản, theo công thức (7).

CHÚ THÍCH: Một sự chỉnh thẳng sai có thể có của một thiết bị đo không thay đổi một loạt các phép đo. Khi đó thành phần độ không đảm bảo này không thay đổi giữa các giá trị đo lặp lại, và được coi như tương hỗ tăng mạnh.

Nếu áp dụng các công thức (6) và (7) vào công thức (A.1) cho các thành phần tương hỗ tăng mạnh, kết quả là

$$u(\bar{x}) = \sum \frac{\delta \bar{x}}{\delta x_j} u_{x_j} \quad (\text{A.2})$$

Trong đó:

$u(\bar{x})$ là độ không đảm bảo của giá trị trung bình cho các thành phần tương hỗ tăng mạnh;

\bar{x} là giá trị trung bình;

x_j là giá trị đo đơn;

u_{x_j} là thành phần độ không đảm bảo đo tương hỗ tăng mạnh cho giá trị đo thứ j .

Sai lệch từng phần của giá trị trung bình \bar{x} so với giá trị đo đơn x_j tính theo công thức sau:

$$\frac{\delta \bar{x}}{\delta x_j} = \frac{1}{n} \quad (\text{A.3})$$

Giả thiết rằng độ không đảm bảo đo đối với giá trị đo đơn không thay đổi, nghĩa là:

$$u_{x1} = u_{x2} = \dots = u_{xn} = u_x \quad (\text{A.4})$$

Thay (A.3) và (A.4) vào (A.2), được kết quả:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{n} u_{x1} + \frac{1}{n} u_{x2} + \dots + \frac{1}{n} u_{xn}$$

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{n} u_x \cdot n \quad (\text{A.5})$$

$$u(\bar{x}) = u_x$$

Trong đó:

$u(\bar{x})$ là độ không đảm bảo của giá trị trung bình cho các thành phần tương hỗ tăng mạnh;

u_x là thành phần độ không đảm bảo đo tương hỗ tăng mạnh cho các giá trị đo.

Công thức (A.5) cho ta thấy rằng độ không đảm bảo của giá trị trung bình $u(\bar{x})$ là độ không đảm bảo của giá trị đo u_x , nếu các thành phần độ không đảm bảo là tương hỗ tăng mạnh.

A.2.3 Độ không đảm bảo của giá trị trung bình $u(\bar{x})$ đối với độ không đảm bảo không tương hỗ u_{x_i}

Nếu các độ không đảm bảo của các đại lượng đo riêng lẻ u_{x_i} không tương hỗ, căn bậc hai của tổng bình phương được áp dụng theo công thức (6), với $u_r = 0$.

CHÚ THÍCH: Ảnh hưởng của sai số biến đổi nhiệt môi trường, ETVE, thường sẽ thay đổi từ giá trị đo này sang giá trị đo khác. Do đó, ảnh hưởng này được xem là không tương hỗ.

Nếu áp dụng công thức (6) vào công thức (A.1) cho các thành phần không tương hỗ, được kết quả là:

$$u(\bar{x}) = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial \bar{x}}{\partial x_i} \right)^2 u_{xi}^2} \quad (\text{A.6})$$

Trong đó:

$u(\bar{x})$ là độ không đảm bảo của giá trị trung bình cho các thành phần không tương hỗ;

\bar{x} là giá trị trung bình;

x_i là giá trị đo đơn;

u_{xi} là thành phần độ không đảm bảo đo không tương hỗ cho giá trị đo thứ i .

Thay (A.3) và (A.4) vào (A.6), được kết quả:

$$u(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{u_{x1}}{n} \right)^2 + \left(\frac{u_{x2}}{n} \right)^2 + \dots + \left(\frac{u_{xn}}{n} \right)^2}$$

$$u(\bar{x}) = u_x \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n^2} \right) \cdot n} \quad (\text{A.7})$$

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}} u_x$$

Độ không đảm bảo đo của giá trị trung bình giảm $\frac{1}{\sqrt{n}}$, nếu n là số lần đo lặp lại, và nếu các độ không đảm bảo của các lần đo lặp lại là không tương hỗ.

Phụ lục B

(Tham khảo)

Độ không đảm bảo đo của ước lượng sai lệch chuẩn s **B.1 Quy định chung**

Ước lượng sai lệch chuẩn được định nghĩa bởi:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{B.1})$$

Trong đó:

s là ước lượng sai lệch chuẩn;

\bar{x} là giá trị trung bình như định nghĩa trong công thức (A.1);

x_i là giá trị trung bình thứ i ;

n là số lần đo.

Nếu ước lượng sai lệch chuẩn được tính toán từ các giá trị đo x_i có độ không đảm bảo đo u_{x_i} , khi đó ước lượng cũng có một độ không đảm bảo. Do đó, bất kỳ thông số nào được định nghĩa như một hàm số của s thể hiện một độ không đảm bảo đo.

B.1.1 Tính toán độ không đảm bảo đo của ước lượng sai lệch chuẩn $u(s)$

Các thành phần của độ không đảm bảo đo là không tương hỗ, hay nói cách khác sẽ không có sai lệch chuẩn trong các phép đo lặp lại.

Giả thiết rằng độ không đảm bảo đo đối với giá trị đo đơn không thay đổi, nghĩa là:

$$u_{x1} = u_{x2} = \dots = u_{xn} = u_x \quad (\text{B.2})$$

Thay công thức (6) với $u_r = 0$ và công thức (B.2) vào công thức (B.1) được kết quả sau:

$$u(s) = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial s}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2}$$

$$u(s) = u_x \sqrt{\left(\frac{\partial s}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial s}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial s}{\partial x_n} \right)^2} \quad (\text{B.3})$$

Các sai lệch từng phần của s được tính như sau, giả thiết $s \neq 0$,

$$\frac{\partial s}{\partial x_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} \left[2 \cdot (x_1 - \bar{x}) \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) + 2(x_2 - \bar{x}) \cdot \left(-\frac{1}{n}\right) + \dots + 2 \cdot (x_n - \bar{x}) \cdot \left(-\frac{1}{n}\right) \right]$$

$$\frac{\partial s}{\partial x_1} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} \left[x_1 - \bar{x} - \frac{x_1}{n} + \frac{\bar{x}}{n} - \frac{x_2}{n} + \frac{\bar{x}}{n} - \dots - \frac{x_n}{n} + \frac{\bar{x}}{n} \right]$$

$$\frac{\partial s}{\partial x_1} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} \left[x_1 - \bar{x} + n \cdot \frac{\bar{x}}{n} - \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \right]$$

$$\frac{\partial s}{\partial x_1} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} \left[x_1 - \bar{x} + \bar{x} - \frac{1}{n} \sum x_i \right]$$

$$\frac{\partial s}{\partial x_1} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} (x_1 - \bar{x})$$

$$\frac{\partial s}{\partial x_2} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} (x_2 - \bar{x})$$

...

$$\frac{\partial s}{\partial x_n} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{n-1} (x_n - \bar{x})$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial x_1} \right)^2 = \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{(n-1)^2} (x_1 - \bar{x})^2$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial x_2} \right)^2 = \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{(n-1)^2} (x_2 - \bar{x})^2$$

...

$$\left(\frac{\partial s}{\partial x_n} \right)^2 = \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{(n-1)^2} (x_n - \bar{x})^2$$

(B.4)

Thay (B.4) và (B.1) vào (B.2) được:

$$u(s) = u_x \sqrt{\frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{(n-1)^2} \cdot [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2]}$$

$$u(s) = u_x \sqrt{\frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{n-1} \cdot \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{B.5})$$

$$u(s) = u_x \sqrt{\frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{n-1} \cdot s^2}$$

$$u(s) = u_x \sqrt{\frac{1}{n-1}}$$

giả thiết $s \neq 0$.

Độ không đảm bảo đo của ước lượng sai lệch chuẩn $u(s)$ là độ không đảm bảo của giá trị đo đơn nhân

với $\sqrt{\frac{1}{n-1}}$, nếu n là số lần đo lặp lại và $s \neq 0$.

Phụ lục C

(Tham khảo)

Ước lượng độ không đảm bảo đo cho phép đo định vị tuyến tính theo TCVN 7011-2 (ISO 230-2)

C.1 Giới thiệu chung

Phụ lục này trình bày ước lượng có thể có của độ không đảm bảo đo của các thông số được đánh giá theo TCVN 7011-2 (ISO 230-2).

Các công thức trong Phụ lục này được sử dụng cho Phụ lục của TCVN 7011-2 (ISO 230-2), trong đó bao gồm các công thức đơn giản và các bảng để đọc và để sử dụng cho việc ước lượng độ không đảm bảo đo cho các điều kiện và các ứng dụng công nghiệp.

C.2 Các thành phần của độ không đảm bảo đo

C.2.1 Quy định chung

Các thành phần chính của độ không đảm bảo đo cho các phép đo định vị tuyến tính là:

- Độ không đảm bảo của việc hiệu chuẩn thiết bị đo, nghĩa là của giao thoa kế laze hoặc thang đo tuyến tính,
- Sự chỉnh thẳng của thiết bị đo so với trục máy thử,
- Sự bù nhiệt độ máy công cụ nếu đo ở nhiệt độ khác 20 °C,
- Sai số biến đổi môi trường (EVE hoặc độ trôi) trong thời gian đo, ví dụ như ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ và thay đổi mật độ không khí tới thiết bị đo và/hoặc máy công cụ kiểm, và
- Khả năng lặp lại của việc lắp đặt thiết bị đo.

Với các giả thiết sau:

- Thiết bị đo được sử dụng theo đúng hướng dẫn của nhà sản xuất/nhà cung cấp thiết bị,
- Tất cả các lượng bù cần thiết (ví dụ các giá trị hiệu chuẩn, bù cho các ảnh hưởng của nhiệt độ) cho thiết bị đo và máy công cụ được thử,
- Tất cả các cảm biến bổ sung (ví dụ cho nhiệt độ máy) được lắp phù hợp,
- Thiết bị đo được lắp đặt cứng vững động và tĩnh và không có bất kỳ khe hở nào, và
- Các bộ phận máy giữ thiết bị đo vận hành như các thân cứng.

Nếu các giả thiết này không được thỏa mãn, các thành phần bổ sung cho độ không đảm bảo đo phải được đưa vào trong tính toán.

C.2.2 Độ không đảm bảo do thiết bị đo, $U_{THIẾT BỊ}$

TCVN 7011-9:2013

Thiết bị đo phải được hiệu chuẩn. Độ không đảm bảo của việc hiệu chuẩn $u_{HIỆU CHUẨN}$ phải được đưa ra trong chứng nhận hiệu chuẩn và được sử dụng để tính $u_{THIẾT BỊ}$ theo công thức (C.1). Đối với giao thoa kế laze, giả thiết sai số đường dẫn bất động bằng 0.

$$u_{THIẾT BỊ} = u_{HIỆU CHUẨN} / k \quad (C.1)$$

Trong đó:

$u_{THIẾT BỊ}$ là độ không đảm bảo chuẩn do thiết bị đo, tính bằng micrômét (μm);

$u_{HIỆU CHUẨN}$ là độ không đảm bảo của việc hiệu chuẩn theo chứng nhận hiệu chuẩn, tính bằng micrômét (μm);

k là hệ số bao phủ cho $u_{HIỆU CHUẨN}$ theo chứng nhận hiệu chuẩn.

Thông thường, độ không đảm bảo của việc hiệu chỉnh được cho bằng micrômét trên mét ($\mu\text{m}/\text{m}$) hoặc phần triệu (ppm). Trong các trường hợp đó độ không đảm bảo của thiết bị được tính theo công thức (C.2):

$$u_{THIẾT BỊ} = u_{HIỆU CHUẨN} \cdot L / k \quad (C.2)$$

Trong đó:

$u_{THIẾT BỊ}$ là độ không đảm bảo chuẩn do thiết bị đo, tính bằng micrômét (μm);

$u_{HIỆU CHUẨN}$ là độ không đảm bảo của việc hiệu chuẩn theo chứng nhận hiệu chuẩn, tính bằng micrômét trên mét ($\mu\text{m}/\text{m}$) hoặc phần triệu (ppm);

L là chiều dài đo, tính bằng mét;

k là hệ số bao phủ cho $u_{HIỆU CHUẨN}$ theo chứng nhận hiệu chuẩn.

Nếu không có chứng chỉ hiệu chuẩn, cần lấy theo dữ liệu được đưa ra bởi nhà chế tạo thiết bị.

Đối với giao thoa kế laze, độ chính xác được cho bởi nhà chế tạo, ví dụ bằng một giá trị độ không đảm bảo hoặc bằng một giá trị phần triệu (ppm), phụ thuộc vào kiểu bù của các thông số không khí và dải nhiệt độ của môi trường trong đó thiết bị được sử dụng. Thành phần khác là độ ổn định chiều dài bước sóng, ví dụ được cho bằng giá trị độ không đảm bảo hoặc giá trị phần triệu (ppm) khác. Các giá trị ppm này phải được nhân với chiều dài đo để nhận được khoảng sai lệch có thể. Khoảng này có thể được sử dụng để tính độ không đảm bảo chuẩn $u_{THIẾT BỊ}$, ƯỚC LƯỢNG theo công thức (1) và (4). Giả thiết sai số đường dẫn bất động bằng 0.

Độ chính xác công bố của nhà chế tạo thiết bị trên cơ sở các giả thiết liên quan đến môi trường. Đối với các giao thoa kế laze, các thay đổi nhanh của nhiệt độ không khí, ví dụ do điều hòa không khí, là vấn đề khó giải quyết, do các cảm biến nhiệt độ thường không theo kịp các thay đổi nhanh, trong khi đó tác động về chiều dài bước sóng thì không có bất kỳ độ trễ nào. Mặt khác, một cảm biến nhiệt độ có thể phản hồi với các thay đổi còn chùm laze thì có thể không, đặc biệt nếu cảm biến nhiệt độ đặt xa chùm laze. Nếu các điều kiện như vậy bị nghi ngờ, kiểm tra thêm độ trôi (xem C.2.5) cho thiết bị là điều cần thiết để ước lượng rằng ảnh hưởng bổ sung về độ không đảm bảo đo, nó có thể đạt tới một khoảng 2 μm trên một chiều dài 1000 mm.

Đối với thang đo tuyến tính, độ chính xác được biết trước, ví dụ, bằng một giá trị độ không đảm bảo hoặc bằng một sai lệch lớn nhất cho chiều dài của thước. Sai lệch lớn nhất được lấy là một khoảng và được chuyển sang độ không đảm bảo chuẩn $u_{\text{THIẾT BỊ, ƯỚC LƯỢNG}}$ theo công thức (4). Giả thiết rằng dữ liệu ra của thang đo tuyến tính được bù tới giá trị đo ở 20 °C. Nếu lượng bù này không là một phần của độ không đảm bảo công bố, các thành phần bổ sung phải được tính toán cho đại lượng đo nhiệt độ và hệ số giãn nở của thước, như được mô tả trong C.2.4 về bù nhiệt độ máy.

Nếu không có chứng nhận hiệu chuẩn, độ không đảm bảo do độ phân giải của thiết bị đo $u_{\text{THIẾT BỊ, ĐỘ PHÂN GIẢI}}$ phải được ước lượng theo công thức (4) và (C.3). Độ không đảm bảo này do độ phân giải phải được cộng vào độ không đảm bảo công bố của nhà chế tạo thiết bị theo công thức (1) và (C.4).

$$u_{\text{THIẾT BỊ, ĐỘ PHÂN GIẢI}} = \frac{r}{2\sqrt{3}} \quad (\text{C.3})$$

Trong đó:

$u_{\text{THIẾT BỊ, ĐỘ PHÂN GIẢI}}$ là độ không đảm bảo chuẩn do độ phân giải của thiết bị đo, tính bằng μm ;

r là độ phân giải của thiết bị đo, tính bằng μm .

$$u_{\text{THIẾT BỊ}} = \sqrt{u_{\text{THIẾT BỊ, ƯỚC LƯỢNG}}^2 + u_{\text{THIẾT BỊ, ĐỘ PHÂN GIẢI}}^2} \quad (\text{C.4})$$

Trong đó:

$u_{\text{THIẾT BỊ}}$ là độ không đảm bảo chuẩn do thiết bị đo, tính bằng μm ;

$u_{\text{THIẾT BỊ, ƯỚC LƯỢNG}}$ là độ không đảm bảo chuẩn do thiết bị đo theo công bố của nhà chế tạo thiết bị, tính bằng μm ;

$u_{\text{THIẾT BỊ, ĐỘ PHÂN GIẢI}}$ là độ không đảm bảo chuẩn do độ phân giải của thiết bị đo, tính bằng μm .

C.2.3 Độ không đảm bảo do sự chỉnh thẳng sai thiết bị đo so với trục máy kiểm, $u_{\text{CHỈNH SAI}}$

Với giao thoa kế laze, chùm laze phải song song với trục máy được kiểm. Sự chỉnh thẳng sai thường chỉ quan sát được bằng sự thay đổi của cường độ chùm phản xạ lại. Nhiều hệ thống cho phép thay đổi về phía bên (xung quanh) lên tới ± 4 mm, nó gây ra một khoảng chỉnh thẳng sai lớn nhất là 4 mm. Sự chỉnh thẳng sai của chùm laze cũng có thể thấy được qua sự ổn định vị trí của chùm phản xạ. Bằng điều chỉnh bằng tay, có thể giảm xuống tới ± 1 mm, có nghĩa là độ song song nằm trong khoảng 1 mm.

Các thang đo tuyến tính thường được trang bị các bề mặt chuẩn để căn chỉnh thước. Độ chính xác của các bề mặt chuẩn và độ chính xác của việc căn chỉnh xác định sự chỉnh thẳng sai lớn nhất.

Sự chỉnh thẳng sai là một ảnh hưởng cấp hai, theo công thức (C.5)

$$\Delta L_{\text{CHỈNH SAI}} = L \cdot (1 - \cos \gamma) \cdot 1000 \quad (\text{C.5})$$

Trong đó:

TCVN 7011-9:2013

$\Delta L_{\text{CHÍNH SAI}}$ là chênh lệch giữa chiều dài đo và chiều dài thực do chỉnh thẳng sai, tính bằng μm ;

L là chiều dài đo, tính bằng mm ;

γ là góc chỉnh thẳng sai, $\sin \gamma = \text{lượng chỉnh thẳng sai (mm)}/L$

Lượng chỉnh thẳng sai có thể khoảng vài millimét, do đó thành phần này có thể là đáng kể đối với các khoảng cách ngắn. Chênh lệch giữa chiều dài đo và chiều dài thực $\Delta L_{\text{CHÍNH SAI}}$ được sử dụng để tính độ không đảm bảo chuẩn theo công thức (4), $u_{\text{CHÍNH SAI}} = \Delta L_{\text{CHÍNH SAI}} / 2\sqrt{3}$.

C.2.4 Độ không đảm bảo do bù nhiệt độ máy công cụ, $u_{\text{NHIỆT ĐỘ}}$

Nếu các phép đo được thực hiện ở nhiệt độ khác $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ của máy công cụ (hoặc chi tiết gia công) phải được bù (xem 3.1 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2)). Với lượng bù này, các độ không đảm bảo được đưa vào do độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ và do độ không đảm bảo của hệ số giãn nở của máy công cụ hoặc của chi tiết gia công.

Ảnh hưởng quan trọng nhất về độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ là điểm tại đó thực hiện các phép đo nhiệt độ, nghĩa là câu hỏi các nhiệt độ được đo có đại diện (điển hình) cho máy công cụ (hoặc chi tiết gia công) hay không. Cần chú ý đến các vị trí của các cảm biến nhiệt độ và phải ghi vào trong báo cáo kiểm.

Các cảm biến nhiệt độ phải được hiệu chuẩn. Chứng nhận hiệu chuẩn phải nói rõ độ không đảm bảo của việc hiệu chuẩn và hệ số bao phủ.

Nếu sử dụng các cảm biến không được hiệu chuẩn, cần phải theo công bố của nhà chế tạo thiết bị. Độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ $u(\Theta)$ được cho bởi nhà chế tạo thiết bị, ví dụ bởi một độ không đảm bảo chuẩn của thiết bị, đây là phương pháp ưa dùng hơn, hoặc bởi một sai lệch lớn nhất. Sai lệch lớn nhất được lấy là một khoảng và được chuyển sang độ không đảm bảo chuẩn theo công thức (4). Độ không đảm bảo do phép đo nhiệt độ u_M được tính theo công thức (C.6).

Nếu một thiết bị cơ khí, ví dụ một thang đo tuyến tính được sử dụng để đo chiều dài và được bố trí trên bàn máy, thiết bị đo nhận nhiệt độ của bàn máy. Trong trường hợp này, chỉ sự chênh lệch nhiệt độ giữa thiết bị đo và bộ phận kẹp chi tiết gia công của máy công cụ là liên quan đến độ không đảm bảo do phép đo nhiệt độ u_M .

$$u_{M,\text{MÁY CÔNG CỤ}} = \alpha \cdot L \cdot u(\Theta) \quad (\text{C.6})$$

Trong đó:

$u_{M,\text{MÁY CÔNG CỤ}}$ là độ không đảm bảo do phép đo nhiệt độ của máy công cụ, tính bằng μm ;

α là hệ số giãn nở của máy công cụ, hoặc của trục được kiểm, tính bằng micrômét trên milimét độ Celsius ($\mu\text{m}/\text{mm }^{\circ}\text{C}$);

L là chiều dài đo, tính bằng milimét (mm);

$u(\Theta)$ là độ không đảm bảo của thiết bị đo nhiệt độ (độ không đảm bảo chuẩn) và độ không đảm bảo do điểm đo, hoặc độ không đảm bảo do sự chênh lệch nhiệt độ giữa thiết bị đo (cơ khí) và bộ phận kẹp chi tiết gia công của máy công cụ, tính bằng độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Nếu độ không đảm bảo công bố đối với thiết bị đo không bao gồm độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ của thiết bị, hoặc nếu thiết bị đo không nhận nhiệt của bộ phận kẹp chi tiết của máy công cụ, độ không đảm bảo do phép đo nhiệt độ, $u_{M, \text{THIẾT BỊ}}$ được tính toán bằng cách sử dụng công thức (C.6), bằng cách thay độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ và hệ số giãn nở của máy công cụ (hoặc chi tiết gia công) bằng độ không đảm bảo của thiết bị đo. Nếu độ không đảm bảo công bố đối với thiết bị đo bao gồm độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ của thiết bị, hoặc nếu thiết bị đo nhận nhiệt của bộ phận kẹp chi tiết gia công của máy công cụ, $u_{M, \text{THIẾT BỊ}}$ có thể được thiết lập bằng 0.

Độ không đảm bảo của hệ số giãn nở $u(\alpha)$ của máy công cụ hoặc chi tiết gia công có thể được ước lượng trong hầu hết các trường hợp. Một khoảng nhỏ nhất bằng 10 % giá trị danh nghĩa của α , nhưng không nhỏ hơn $0,002 \mu\text{m}/\text{mm}^{\circ}\text{C}$ ($= 2 \mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) được đề xuất. Khoảng này được chuyển theo công thức (4) sang sai lệch chuẩn. Với giả thiết này, $u(\alpha) = \frac{0,002}{2\sqrt{3}} = 0,0006 \mu\text{m}/\text{mm}^{\circ}\text{C}$. Độ không đảm bảo do hệ số giãn nở u_E được tính theo công thức (C.7).

$$U_{E, \text{MÁY CÔNG CỤ}} = \Delta T \cdot L \cdot u(\Theta) \quad (\text{C.7})$$

Trong đó:

$U_{E, \text{MÁY CÔNG CỤ}}$ là độ không đảm bảo do hệ số giãn nở nhiệt của máy công cụ, tính bằng μm ;

ΔT là chênh lệch so với 20°C , tính bằng độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$), $\Delta T = T - 20^{\circ}\text{C}$;

T là nhiệt độ của máy công cụ hoặc chi tiết gia công, tính bằng độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

L là chiều dài đo, tính bằng milimét (mm);

$u(\alpha)$ là độ không đảm bảo của hệ số giãn nở của máy công cụ hoặc chi tiết gia công (độ không đảm bảo chuẩn), tính bằng micrômét trên milimét độ Celsius ($\mu\text{m}/\text{mm}^{\circ}\text{C}$).

Nếu độ không đảm bảo công bố của thiết bị đo không bao gồm độ không đảm bảo của hệ số giãn nở nhiệt của thiết bị, độ không đảm bảo do hệ số giãn nở $u_{E, \text{THIẾT BỊ}}$ phải được tính toán cho thiết bị đo. $u_{E, \text{THIẾT BỊ}}$ được tính bằng công thức (C.7) bằng cách thay nhiệt độ và độ không đảm bảo của hệ số giãn nở của máy công cụ (hoặc chi tiết gia công) bằng độ không đảm bảo của thiết bị đo. Nếu độ không đảm bảo công bố đối với thiết bị không bao gồm độ không đảm bảo này, $u_{E, \text{THIẾT BỊ}}$ có thể được thiết lập bằng 0.

Các độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ và hệ số giãn nở được giả thiết không được hiệu chuẩn. Theo công thức (1) dẫn đến công thức (C.8):

$$U_{\text{NHIỆT ĐỘ}} = \sqrt{u_{M, \text{MÁY CÔNG CỤ}}^2 + u_{M, \text{THIẾT BỊ}}^2 + u_{E, \text{MÁY CÔNG CỤ}}^2 + u_{E, \text{THIẾT BỊ}}^2} \quad (\text{C.8})$$

Trong đó:

$u_{M,MÁY CÔNG CỤ}$ là độ không đảm bảo do phép đo của máy công cụ hoặc chi tiết gia công, hoặc độ không đảm bảo do chênh lệch nhiệt độ giữa thiết bị đo và bộ phận kẹp chi tiết gia công của máy công cụ, tính bằng micrômét (μm);

$u_{M,THIẾT BỊ}$ là độ không đảm bảo do phép đo nhiệt độ của thiết bị tính bằng micrômét (μm); có thể được thiết lập bằng 0, nếu độ không đảm bảo công bố đối với thiết bị bao gồm độ không đảm bảo của phép đo nhiệt độ của thiết bị (hoặc nếu bao gồm độ không đảm bảo của lượng bù của các phép đo tại nhiệt độ khác 20 °C); có thể được thiết lập bằng 0, nếu thiết bị (cơ khí) nhận nhiệt của bộ phận kẹp chi tiết gia công của máy công cụ;

$u_{E,MÁY CÔNG CỤ}$ là độ không đảm bảo do hệ số giãn nở nhiệt của máy công cụ hoặc chi tiết gia công, tính bằng micrômét (μm);

L là chiều dài đo, tính bằng milimét (mm);

$u_{E,THIẾT BỊ}$ là độ không đảm bảo do hệ số giãn nở nhiệt của thiết bị đo, tính bằng micrômét (μm); có thể được thiết lập bằng 0, nếu độ không đảm bảo công bố đối với thiết bị bao gồm độ không đảm bảo của hệ số giãn nở của thiết bị (hoặc nếu bao gồm độ không đảm bảo của lượng bù của các phép đo tại nhiệt độ khác 20 °C)

C.2.5 Độ không đảm bảo do sai số biến đổi môi trường (EVE, hoặc độ trôi) , u_{EVE}

Trong thời gian đo, môi trường, thiết bị và/hoặc máy công cụ có thể trôi hoặc thay đổi, gây ảnh hưởng đến số liệu đưa ra của hệ thống đo. Sai số biến đổi môi trường này có thể được kiểm tra bằng một phép kiểm độ trôi: Bằng cách lắp đặt thiết bị đo trên máy công cụ kiểm và nhìn vào thay đổi của số liệu đưa ra ở vị trí giới hạn (biên) trong thời gian cần thiết để thực hiện kiểm định vị, có thể nhận được độ lớn của ảnh hưởng này, E_{VE} .

Giá trị độ trôi này E_{VE} tốt nhất là được đánh giá bằng cách tính sai lệch chuẩn, u_{EVE} , từ dữ liệu đã lấy hoặc được lấy là một khoảng và được chuyển sang thành một độ không đảm bảo chuẩn theo công thức (C.9) – tương ứng với công thức (4).

Giá trị độ trôi này không bao gồm độ lặp lại của trục máy, do trục máy không bị dịch chuyển trong khi kiểm độ trôi.

$$u_{EVE} = \frac{E_{VE}}{2\sqrt{3}} \quad (\text{C.9})$$

Trong đó:

u_{EVE} là độ không đảm bảo do biến đổi môi trường, không bị ảnh hưởng bởi khả năng lặp lại của trục di chuyển;

E_{VE} là giá trị độ trôi.

Giá trị độ trôi E_{VE} không chứa độ trôi thuần túy, do độ trôi phải được làm giảm tối thiểu cho các phép đo theo 3.3 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2), nghĩa là, không được đạt một sự tăng lên có trật tự của các sai lệch giữa các cách tiếp cận liên tiếp tới bất kỳ vị trí đích cụ thể nào. Do đó, thành phần này được xem là không tương hỗ giữa năm lần đo liên tiếp.

Sai số biến đổi môi trường E_{VE} luôn luôn làm tăng sai lệch chuẩn được tính toán cho khả năng lặp lại theo một chiều $R \uparrow$, $R \downarrow$ và cho khả năng lặp lại theo hai chiều R . Do đó các giá trị khả năng lặp lại có thể được hiệu chỉnh cho các ảnh hưởng của môi trường theo công thức (C.10), nếu các sai lệch chuẩn lớn nhất từ các phép đo định vị lặp lại xuất hiện tại các chiều dài đo dài hơn. Nếu các sai lệch chuẩn lớn nhất xuất hiện tại các chiều dài đo ngắn hơn, phải thực hiện thêm các phép kiểm độ trôi tại các chiều dài đo liên quan.

$$s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow = \sqrt{s_i \uparrow^2 - u_{EVE}^2}$$

$$s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow = \sqrt{s_i \downarrow^2 - u_{EVE}^2}$$

$$R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow = 4 \cdot s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow$$

$$R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow = 4 \cdot s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow$$

$$R_{i,\text{hiệu chỉnh}} = \max [2 \cdot s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow + 2 \cdot s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow + |B_i|; R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow; R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow]$$

$$R_{\text{hiệu chỉnh}} \uparrow = \max [R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow]$$

$$R_{\text{hiệu chỉnh}} \downarrow = \max [R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \downarrow]$$

$$R_{\text{hiệu chỉnh}} = \max [R_{i,\text{hiệu chỉnh}}]$$

Trong đó:

$s_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow, \downarrow$ là độ không đảm bảo chuẩn theo một chiều được hiệu chỉnh s_i , hiệu chỉnh do ảnh hưởng của môi trường;

s_i là ước lượng của độ không đảm bảo định vị chuẩn theo một chiều, xem 2.15 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2);

u_{EVE} là độ không đảm bảo do các biến đổi của môi trường;

$R_{i,\text{hiệu chỉnh}} \uparrow, \downarrow$ là khả năng lặp lại định vị theo một chiều được hiệu chỉnh tại vị trí i , hiệu chỉnh do ảnh hưởng của môi trường;

$R_{i,\text{hiệu chỉnh}}$ là khả năng lặp lại định vị theo hai chiều được hiệu chỉnh tại vị trí i , hiệu chỉnh do ảnh hưởng của môi trường;

$R_{\text{hiệu chỉnh}} \uparrow, \downarrow$ là khả năng lặp lại định vị theo một chiều được hiệu chỉnh, hiệu chỉnh do ảnh hưởng của môi trường;

TCVN 7011-9:2013

$R_{\text{hiệu chỉnh}}$ là khả năng lặp lại định vị theo hai chiều được hiệu chỉnh, hiệu chỉnh do ảnh hưởng của môi trường.

C.2.6 Độ không đảm bảo do khả năng lặp lại của việc thiết lập phép đo, $u_{\text{THIẾT LẬP}}$

Độ chính xác định vị tuyến tính và khả năng lặp lại thay đổi theo các đường đo khác nhau, nếu trục dịch chuyển có các chuyển động bước và/hoặc chuyển động lắc ngang (lệch hướng). Do đó, đường đo phải được nói rõ một cách chính xác, như yêu cầu trong Điều 6 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2). Nếu số liệu độ chính xác định vị theo phép kiểm này được sử dụng cho các mục đích bù hoặc cho việc tính toán độ chính xác thể tích, vị trí chính xác của đường đo là yếu tố cần thiết. Trong thực tế không có khả năng để nói rõ vị trí của đường đo một cách chính xác; do đó, thành phần này của độ không đảm bảo đo phải được tính đến.

Ảnh hưởng này phụ thuộc vào cỡ của các sai lệch góc, bước và lắc ngang của trục được kiểm và phụ thuộc vào bù Abbe giữa các đường đo của hai thiết lập. Lượng bù được đo theo phương vuông góc so với đường phép đo. Dẫn đến kết quả ảnh hưởng tới chiều dài đo được tính theo công thức (C.11), giả sử trong lần ước lượng đầu tiên, chuyển động bước và lắc ngang đó có cùng thành phần thay đổi chiều dài.

$$\Delta L_{\text{THIẾT LẬP}} = \sqrt{2} \cdot O_{\text{ABBE}} \cdot D_{\text{GÓC}} / 1000 \quad (\text{C.11})$$

Trong đó:

$\Delta L_{\text{THIẾT LẬP}}$ là thay đổi chiều dài đo do khả năng lặp lại của thiết lập phép đo, tính bằng micrômét (μm);

O_{ABBE} là bù Abbe giữa hai đường có thể có của phép đo, tính bằng milimét (mm);

$D_{\text{GÓC}}$ là sai lệch góc (bước/lắc ngang) của trục được kiểm, tính bằng micrômét trên mét ($\mu\text{m}/\text{m}$).

Thông thường, lượng bù Abbe giữa hai lần thiết lập phép đo sẽ là khoảng 50 mm; nếu sử dụng đồ gá theo yêu cầu của khách hàng, nó có thể được giảm xuống còn 1 mm hoặc nhỏ hơn. Sai lệch góc của trục được kiểm có thể được đo, hoặc các dung sai theo ISO cho dịch chuyển bước và lắc ngang được lấy như một ước lượng đầu tiên. Các dung sai theo ISO cho dịch chuyển bước và lắc ngang cho máy công cụ là khoảng 50 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Ảnh hưởng do khả năng lặp lại của việc thiết lập trên chiều dài đo $\Delta L_{\text{THIẾT LẬP}}$ được sử dụng để tính độ không đảm bảo chuẩn theo công thức (4), $u_{\text{THIẾT LẬP}} = \Delta L_{\text{THIẾT LẬP}} / 2\sqrt{3}$.

C.3 Độ không đảm bảo của điểm đo, $u_{\text{ĐIỂM ĐO}}$

Độ không đảm bảo của một điểm đo đơn bị ảnh hưởng bởi thiết bị, sự căn chỉnh, sự bù nhiệt độ, sai số biến đổi môi trường, và bởi khả năng lặp lại của việc thiết lập phép đo. Các thành phần này là không tương hỗ; do đó u , trong công thức (1) có thể lấy bằng 0, và $u_{\text{ĐIỂM ĐO}}$ được tính toán bằng cách sử dụng công thức (1) – theo công thức (C.12).

$$U_{\text{ĐIỂM ĐO}} = \sqrt{u_{\text{THIẾT BỊ}}^2 + u_{\text{CHÍNH THẮNG}}^2 + u_{\text{NHIỆT ĐỘ}}^2 + u_{\text{EVE}}^2 + u_{\text{THIẾT LẬP}}^2} \quad (\text{C.12})$$

Trong đó u_{POINT} là độ không đảm bảo do điểm đo.

Hầu hết các thành phần phụ thuộc vào chiều dài đo, nên u_{POINT} khác nhau tại từng điểm đo dọc theo trục máy. Đối với ước lượng độ không đảm bảo đầu tiên, chiều dài lớn nhất phải được lấy cho tất cả các thành phần.

C.4 Ước lượng độ không đảm bảo của các thông số

C.4.1 Tổng quan

Trong TCVN 7011-2 (ISO 230-2), các thông số: khả năng lặp lại, giá trị đảo chiều, sai lệch hệ thống và độ chính xác định vị được định nghĩa và phải được thể hiện là các kết quả của các phép đo. Các độ không đảm bảo của các thông số này, trên cơ sở độ không đảm bảo đo, được ước lượng theo C.4.2 đến C.4.5.

C.4.2 Ước lượng độ không đảm bảo cho khả năng lặp lại theo một chiều $U(R \uparrow, R \downarrow)$

Điều này chỉ áp dụng cho các trục lên tới 2000 mm.

Khả năng lặp lại theo một chiều là lớn nhất của bốn lần sai lệch chuẩn của năm lần đo tại mỗi vị trí đo (xem 2.17 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2)). Chỉ các chênh lệch tại cùng các vị trí là các hệ số đóng góp (thành phần) cho thông số này. Do đó, độ không đảm bảo của khả năng lặp lại theo một chiều $R \uparrow, R \downarrow$ không phụ thuộc vào việc hiệu chuẩn thiết bị đo, việc căn chỉnh thiết bị đo hoặc việc bù nhiệt độ máy. Đối với khả năng lặp lại theo một chiều, các thay đổi nhỏ trong vị trí thiết lập được xem là không có tính quyết định.

Do đó, chỉ còn lại thành phần là sai số biến đổi môi trường u_{EVE} . Năm lần đo có thể được xem là không tương hỗ đối với các thành phần này; do đó u_i trong công thức (6) bằng 0. Sử dụng 2.10, 2.15, 2.16 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2) và các công thức (3), (6) và (B.5) của tiêu chuẩn này, nhận được kết quả sau:

$$u(R \uparrow, R \downarrow) = 4 \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1}} \cdot u_{\text{EVE}} \quad U(R \uparrow, R \downarrow) = 2u(R \uparrow, R \downarrow) \quad (\text{C.13})$$

Trong đó:

$U(R \uparrow, R \downarrow)$ là độ không đảm bảo của khả năng lặp lại theo một chiều, $k = 2$;

n là số lần đo, $n = 5$.

C.4.3 Ước lượng độ không đảm bảo cho giá trị đảo chiều $U(B)$

Giá trị đảo chiều là hiệu lớn nhất giữa hai giá trị trung bình (xem 2.13 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2)). Chỉ các chênh lệch giữa dịch chuyển hướng lên và hướng xuống tại cùng các vị trí là các hệ số đóng góp (thành phần) cho thông số này. Do đó, về phần khả năng lặp lại theo một chiều, độ không đảm

TCVN 7011-9:2013

bảo cho giá trị đảo chiều không phụ thuộc vào việc hiệu chuẩn thiết bị đo, việc căn chỉnh thiết bị đo, và việc bù nhiệt độ máy công cụ.

Do đó, chỉ còn lại các thành phần là u_{EVE} và $u_{THIẾT LẬP}$. Thành phần u_{EVE} có thể được xem là không tương hỗ giữa năm lần đo; Thành phần $u_{THIẾT LẬP}$ không thay đổi giữa năm lần đo, do đó nó được xem là tương hỗ. Trong một ước lượng đầu tiên, các giá trị trung bình từ dịch chuyển hướng lên và hướng xuống được xem là tương hỗ, bởi vì các giá trị được quan sát tại cùng một điểm đo. Sử dụng 2.10, 2.12, và 2.13 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2) và các công thức (3), (6), (7), (A.5) và (A.7) của tiêu chuẩn này, nhận được kết quả sau:

$$u(B) = 2 \cdot \sqrt{\frac{u_{EVE}^2}{n} + u_{THIẾT LẬP}^2} \quad U(B) = 2u(B) \quad (C.14)$$

Trong đó:

$U(B)$ là độ không đảm bảo của giá trị đảo chiều, $k = 2$;

n là số lần đo,

$n = 5$ đối với các trục lên tới 2000 mm,

$n = 1$ đối với các trục lớn hơn 2000 mm.

C.4.4 Độ không đảm bảo của khả năng lặp lại theo hai chiều, $U(R)$

Điều này chỉ áp dụng cho các trục lên tới 2000 mm.

Khả năng lặp lại theo hai chiều (xem 2.17 của TCVN 7011-2 (ISO 230-2)) nói chung bằng tổng của khả năng lặp lại theo một chiều và giá trị đảo chiều. Do khả năng lặp lại được đánh giá từ sai lệch chuẩn của năm lần đo và do giá trị đảo chiều được đánh giá từ giá trị trung bình, hai thành phần này được xem là không tương hỗ. Sử dụng các công thức (6), (C.13) và (C.14), được kết quả sau:

$$u(R) = \sqrt{u(B)^2 + u(R \uparrow, R \downarrow)^2} \quad U(R) = 2u(R) \quad (C.15)$$

Trong đó $U(R)$ là độ không đảm bảo của khả năng lặp lại theo hai chiều, $k = 2$.

C.4.5 Độ không đảm bảo của sai lệch hệ thống, $U(M, E, E \uparrow, E \downarrow)$

Tất cả các sai lệch hệ thống của TCVN 7011-2 (ISO 230-2) dựa vào các giá trị trung bình được tính toán từ năm lần đo (xem TCVN 7011-2 (ISO 230-2)). Đối với các giá trị này, độ chính xác tuyệt đối của thiết bị, việc căn chỉnh, bù nhiệt độ của máy công cụ và khả năng lặp lại của việc thiết lập là quan trọng chủ yếu. Bốn thành phần này vẫn giống nhau cho năm lần đo; do đó, chúng phải được xử lý như tương hỗ giữa năm lần đo. Chỉ có sai số biến đổi môi trường có thể được xem là không tương hỗ giữa năm lần đo.

Các sai lệch hệ thống là hiệu số giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất đọc theo hành trình của trục máy. Do các thành phần riêng lẻ (đơn) được ước lượng cho toàn bộ hành trình của trục và các giá trị nhỏ nhất và lớn nhất thường có vị trí gần các biên (đầu) của hành trình, việc ước lượng chỉ với điểm

đầu là đủ trong các trường hợp quan trọng nhất. Sử dụng các công thức (3), (6), (A.5) và (A.7), được kết quả sau:

$$u(M, E, E \uparrow, E \downarrow) = \sqrt{u_{\text{THIẾT BỊ}}^2 + u_{\text{CHỈNH THẮNG SAI}}^2 + u_{\text{NHIỆT ĐỘ}}^2 + u_{\text{THIẾT LẬP}}^2 + \frac{u_{\text{EVE}}^2}{n}}$$

$$U(M, E, E \uparrow, E \downarrow) = 2u(M, E, E \uparrow, E \downarrow) \quad (\text{C.16})$$

Trong đó:

$U(M, E, E \uparrow, E \downarrow)$ là độ không đảm bảo của các sai lệch hệ thống, $k=2$;

n là số lần đo,

với trục lên tới 2000 mm:

$n = 5$ đối với $E, E \uparrow, E \downarrow$

$n = 10$ đối với M ,

với trục lớn hơn 2000 mm:

$n = 1$ đối với $E, E \uparrow, E \downarrow$

$n = 2$ đối với M .

C.4.6 Độ không đảm bảo của độ chính xác định vị, $U(A, A \uparrow, A \downarrow)$

Điều này chỉ áp dụng cho các trục lên tới 2000 mm.

Các giá trị độ chính xác nói chung bằng tổng của các sai lệch hệ thống và các giá trị khả năng lặp lại theo một chiều (xem TCVN 7011-2 (ISO 230-2)), nghĩa là tổng của một giá trị trung bình và một tích sai lệch chuẩn. Hai thành phần này được xem là không tương hỗ, dẫn tới công thức (C.17).

$$u(A, A \uparrow, A \downarrow) = \sqrt{u(E)^2 + u(R \uparrow, R \downarrow)^2}$$

$$U(A, A \uparrow, A \downarrow) = 2u(A, A \uparrow, A \downarrow) \quad (\text{C.17})$$

Trong đó $U(A, A \uparrow, A \downarrow)$ là độ không đảm bảo của độ chính xác định vị, $k = 2$.

C.5 Ví dụ ước lượng độ không đảm bảo

C.5.1 Ước lượng độ không đảm bảo cho giao thoa kế laze trong các điều kiện công nghiệp bình thường

Các điều kiện công nghiệp bình thường được định nghĩa là:

- Thiết bị không được hiệu chuẩn, các giá trị độ không đảm bảo được lấy theo nhà sản xuất thiết bị,

TCVN 7011-9:2013

- Việc căn chỉnh được thực hiện để đạt được đủ cường độ của chùm laze phản hồi, thay cho căn chỉnh được khuyến nghị theo chùm phản hồi (xem C.5.2),
- Nhiệt độ trong nhà máy (phân xưởng làm việc) khoảng 25 °C,
- Các cảm biến nhiệt độ không được hiệu chỉnh,
- Khả năng lặp lại của việc thiết lập là khoảng 50 mm, các chuyển động bước và lắc ngang lớn nhất là 50 $\mu\text{m}/\text{m}$, và
- Sai số biến đổi môi trường E_{VE} , được lấy từ một phép kiểm độ trôi, được giả thiết bằng 1,7 μm .

Trong trường hợp này, độ không đảm bảo cho độ chính xác định vị theo hai chiều $U(A)$ là 14 μm ($k = 2$) cho chiều dài đo là 1750 mm (xem Bảng C.1).

C.5.2 Ước lượng độ không đảm bảo cho giao thoa kế laze trong các điều kiện công nghiệp được cải thiện

Các điều kiện được cải thiện được định nghĩa là:

- Sử dụng thiết bị được hiệu chuẩn,
- Thiết bị được căn chỉnh trong khoảng 1 mm so với trục được kiểm bằng cách căn chỉnh chùm laze phản hồi,
- Nhiệt độ trong nhà máy (phân xưởng làm việc) ổn định và trong khoảng 20 °C \pm 1 °C,
- Các cảm biến nhiệt độ được cải thiện,
- Thiết lập phép đo được thực hiện với các đồ gá đặc biệt để giữ khả năng lặp lại lớn nhất là 1 mm, các chuyển động bước và lắc ngang lớn nhất là 50 $\mu\text{m}/\text{m}$, và
- Sai số biến đổi môi trường E_{VE} , được lấy từ một phép kiểm độ trôi, được giả thiết bằng 1,7 μm (mặc dù, thông thường một môi trường tốt hơn sẽ dẫn đến E_{VE} nhỏ hơn).

Khi đó, độ không đảm bảo cho độ chính xác định vị theo hai chiều $U(A)$ là 4 μm ($k = 2$) cho chiều dài đo là 1750 mm (xem Bảng C.2).

C.5.3 Ước lượng độ không đảm bảo cho thang đo tuyến tính trong các điều kiện công nghiệp bình thường

Các điều kiện công nghiệp bình thường được định nghĩa là:

- Thiết bị không được hiệu chuẩn, các giá trị độ không đảm bảo được lấy theo nhà sản xuất thiết bị,
- Việc căn chỉnh được thực hiện trên mặt bên của thang đo tuyến tính đặt trên bàn máy trong khoảng 0,5 mm,
- Nhiệt độ trong nhà máy (phân xưởng làm việc) khoảng 25 °C,
- Thang đo tuyến tính nhận nhiệt của thiết bị kẹp chi tiết gia công, nếu thước được kẹp vào nó, với độ chênh lớn nhất là 0,1 °C,

- Khả năng lặp lại của việc thiết lập là khoảng 50 mm, các chuyển động bước và lắc ngang lớn nhất là 50 $\mu\text{m}/\text{m}$, và
- Sai số biến đổi môi trường E_{VE} , được lấy từ một phép kiểm độ trôi, được giả thiết bằng 1,7 μm .

Trong trường hợp này, độ không đảm bảo cho độ chính xác định vị theo hai chiều $U(A)$ là 15 μm ($k = 2$) cho chiều dài đo là 1750 mm (xem Bảng C.3).

C.5.4 Ước lượng độ không đảm bảo cho giao thoa kế laze trong các điều kiện công nghiệp được cải thiện

Các điều kiện được cải thiện được định nghĩa là:

- Sử dụng thiết bị được hiệu chuẩn,
- Thiết bị được căn chỉnh (ví dụ với đồng hồ so) trên mặt bên của nó trong khoảng 0,5 mm so với trục được kiểm,
- Nhiệt độ trong nhà máy (phân xưởng làm việc) ổn định và trong khoảng $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Thang đo tuyến tính nhận nhiệt của thiết bị kẹp chi tiết gia công, nếu thước được kẹp vào nó, với độ chênh lớn nhất là 0,05 $^{\circ}\text{C}$,
- Thiết lập phép đo được thực hiện với các đồ gá đặc biệt để giữ khả năng lặp lại lớn nhất là 1 mm, các chuyển động bước và lắc ngang lớn nhất là 50 $\mu\text{m}/\text{m}$, và
- Sai số biến đổi môi trường E_{VE} , được lấy từ một phép kiểm độ trôi, được giả thiết bằng 1,7 μm (mặc dù, thông thường một môi trường tốt hơn sẽ dẫn đến E_{VE} nhỏ hơn).

Khi đó, độ không đảm bảo cho độ chính xác định vị theo hai chiều $U(A)$ là 4 μm ($k = 2$) cho chiều dài đo là 1750 mm (xem Bảng C.4).

Bảng C.1 - Ước lượng độ không đảm bảo đo cho phép đo vị trí bằng laze trong các điều kiện công nghiệp bình thường

Thành phần	Thông số	Đơn vị	u	Đơn vị	U	Đơn vị	Công thức
Thiết bị							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o độ chính xác, bù tự động, 15-25 °C	3,400	ppm					
oo ảnh hưởng	5,953	ppm	1,7	µm			4
o độ chính xác chiều dài bước sóng	0,200	µm					4
oo ảnh hưởng	0,350		0,1	µm			
u(Thiết bị)			1,7	µm			1
Căn chỉnh							
o căn chỉnh chùm							
oo căn chỉnh, giả thiết	4,000	mm					
oo chiều dài đo	1751,000	mm					
oo góc lớn nhất	0,131	°					C.5
oo ảnh hưởng lần thứ 2	4,569	µm					C.5
u(Chỉnh thẳng sai)			1,3	µm			4
Bù nhiệt độ chi tiết gia công							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o hệ số giãn nở nhiệt	12,000	µm/m°C					
o chênh so với 20 °C, lớn nhất	5,000	°C					
o phép đo nhiệt độ							
oo sai lệch, lớn nhất	0,700	°C	0,2	°C			4
u(M, Máy công cụ)			4,2	µm			C.6
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng	2,000	µm/m°C	0,6	µm/m°C			4
u(E, Máy công cụ)			5,1	µm			C.7
u(Nhiệt độ)			6,6	µm			C.8
EVE, sai số biến đổi môi trường							
u(EVE)	1,700	µm					
			0,5	µm			C.9
Khả năng lặp lại của thiết lập							
o bước và lác ngang lớn nhất	50,000	µm/m					
o bù Abbe giữa hai lần thiết lập	50,000	mm					
o thay đổi chiều dài đo	3,536	µm					C.11
u(Thiết lập)			1,0	µm			4
u(Điểm đo) tại chiều dài đo			7,0	µm			C.12
Số lần đo, n			5,0				
U(R+, R-)			1,0	µm	2	µm	C.13
U(B)			2,1	µm	4	µm	C.14
U(R)			2,3	µm	5	µm	C.15
U(E, E+, E-)			7,0	µm	14	µm	C.16
U(M)			7,0	µm	14	µm	C.16
U(A)			7,1	µm	14	µm	C.17
Hiệu chỉnh các giá trị khả năng lặp lại							
	Không hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh					
R+ theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,9	2,1	µm				C.10
R- theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,5	1,5	µm				C.10
s+(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,7	0,5	µm				C.10
s-(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,6	0,3	µm				C.10
B(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	3,9		µm				
R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	6,5	5,6	µm				C.10

Bảng C.2 - Ước lượng độ không đảm bảo đo cho phép đo vị trí bằng laze trong các điều kiện công nghiệp được cải thiện

Ước lượng độ không đảm bảo đo, đo bằng giao thoa kế laze							
Các điều kiện công nghiệp được cải thiện							
Thành phần	Thông số	Đơn vị	u	Đơn vị	U	Đơn vị	Công thức
Thiết bị							
o chiều dài đo	1751.000	mm					
o độ không đảm bảo theo chứng nhận hiệu chuẩn					1,0	ppm	
oo hệ số bao phủ theo chứng nhận	2.000	-					
u(Thiết bị)		μm	0,9	μm			C.2
Căn chỉnh							
o căn chỉnh chùm							
oo căn chỉnh, giá thiết	1.000	mm					
oo chiều dài đo	1751.000	mm					
oo góc lớn nhất	0.033	°					C.5
oo ảnh hưởng lần thứ 2	0.286	μm					C.5
u(Chỉnh thẳng sai)			0,1	μm			4
Bù nhiệt độ chi tiết gia công							
o chiều dài đo	1751.000	mm					
o hệ số giãn nở nhiệt	12.000	$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$					
o chênh so với 20 °C, lớn nhất	1.000	°C					
o phép đo nhiệt độ							
oo sai lệch, lớn nhất	0.200	°C	0,1	°C			4
u(M, Máy công cụ)			1,2	μm			C.6
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng	2.000	$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	0,6	$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$			4
u(E, Máy công cụ)			1,0	μm			C.7
u(Nhiệt độ)			1,6	μm			C.8
EVE, sai số biến đổi môi trường							
u(EVE)	1.700	μm	0,5	μm			
Khả năng lặp lại của thiết lập							
o bước và lác ngang lớn nhất	50.000	$\mu\text{m}/\text{m}$					
o bù Abbe giữa hai lần thiết lập	1.000	mm					
o thay đổi chiều dài đo	0.071	μm					C.11
u(Thiết lập)			0,0	μm			4
u(Điểm đo) tại chiều dài đo							
Số lần đo, n			5,0				
U(R+, R-)			1,0	μm	2,0	μm	C.13
U(B)			0,4	μm	0,9	μm	C.14
U(R)			1,1	μm	2,2	μm	C.15
U(E, E+, E-)			1,8	μm	3,6	μm	C.16
U(M)			1,8	μm	3,6	μm	C.16
U(A)			2,1	μm	4,1	μm	C.17
Hiệu chỉnh các giá trị khả năng lặp lại							
	Không	hiệu	Hiệu				
	chỉnh		chỉnh				
R+ theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,9		2,1	μm			C.10
R- theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,5		1,5	μm			C.10
s+(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,7		0,5	μm			C.10
s-(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,6		0,3	μm			C.10
B(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	3,9			μm			C.10
R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	6,5	5,6		μm			C.10

Bảng C.3 - Ước lượng độ không đảm bảo đo cho phép đo bằng thang đo tuyến tính trong các điều kiện công nghiệp bình thường

Phép đo xác định vị trí							
Ước lượng độ không đảm bảo đo, đo bằng thước chia tuyến tính							
Các điều kiện công nghiệp bình thường							
Thành phần	Thông số	Đơn vị	u	Đơn vị	U	Đơn vị	Công thức
Thiết bị							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o độ chính xác của thiết bị	3,000	µm	0,9	µm			4
u(Thiết bị)			0,9	µm			C.2
Căn chỉnh							
o căn chỉnh thang đo tuyến tính							
oo căn chỉnh, giả thiết	0,500	mm					
oo chiều dài đo	1751,000	mm					
oo góc lớn nhất	0,016	°					C.5
oo ảnh hưởng lần thứ 2	0,071	µm					C.5
u(Chỉnh thẳng sai)			0,0	µm			4
Bù nhiệt độ chi tiết gia công							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o hệ số giãn nở nhiệt	12,000	µm/m°C					
o chênh so với 20 °C, lớn nhất	5,000	°C					
o chênh nhiệt độ thước và bàn máy							
oo sai lệch, lớn nhất	0,100	°C	0,0	°C			4
u(M, Máy công cụ)			0,6	µm			C.6
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng của máy	2,000	µm/m°C	0,6	µm/m°C			4
u(E, Máy công cụ)			5,1	µm			C.7
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng của thước	2,000	µm/m°C	0,6	µm/m°C			4
u(E, Thiết bị)			5,1	µm			C.7
u(Nhiệt độ)			7,2	µm			C.8
EVE, sai số biến đổi môi trường							
u(EVE)	1,700	µm					
			0,5	µm			C.9
Khả năng lặp lại của thiết lập							
o bước và lác ngang lớn nhất	50,000	µm/m					
o bù Abbe giữa hai lần thiết lập	50,000	mm					
o thay đổi chiều dài đo	3,536	µm					C.11
u(Thiết lập)			1,0	µm			4
u(Điểm đo) tại chiều dài đo			7,3	µm			C.12
Số lần đo, n			5,0				
U(R+, R-)			1,0	µm	2	µm	C.13
U(B)			2,1	µm	4	µm	C.14
U(R)			2,3	µm	5	µm	C.15
U(E, E+, E-)			7,3	µm	15	µm	C.16
U(M)			7,3	µm	15	µm	C.16
U(A)			7,4	µm	15	µm	C.17
Hiệu chỉnh các giá trị khả năng lặp lại	Không hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh					
R+ theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,9	2,1	µm				C.10
R- theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,5	1,5	µm				C.10
s+(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,7	0,5	µm				C.10
s-(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,6	0,3	µm				C.10
B(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	3,9		µm				C.10
R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	6,5	5,6	µm				C.10

Bảng C.4 - Ước lượng độ không đảm bảo đo cho phép đo bằng thang đo tuyến tính trong các điều kiện công nghiệp được cải thiện

Ước lượng độ không đảm bảo đo, đo bằng thang đo tuyến tính							
Các điều kiện công nghiệp được cải thiện							
Thành phần	Thông số	Đơn vị	u	Đơn vị	U	Đơn vị	Công thức
Thiết bị							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o độ không đảm bảo theo chứng nhận hiệu chuẩn					1,5	μm	
o hệ số bao phủ theo chứng nhận	2,000	-					
		μm		μm			
u(Thiết bị)			0,8	μm			C.1
Căn chỉnh							
o căn chỉnh thang đo tuyến tính							
o o căn chỉnh, giá thiết	0,500	mm					
o o chiều dài đo	1751,000	mm					
o o góc lớn nhất	0,016	$^{\circ}$					C.5
o o ảnh hưởng lần thứ 2	0,071	μm					C.5
u(Chỉnh thẳng sai)			0,0	μm			4
Bù nhiệt độ chỉ tiết gia công							
o chiều dài đo	1751,000	mm					
o hệ số giãn nở nhiệt	12,000	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$					
o chênh so với 20 $^{\circ}\text{C}$, lớn nhất	1,000	$^{\circ}\text{C}$					
o chênh nhiệt độ thước và bàn máy							
o o sai lệch, lớn nhất	0,050	$^{\circ}\text{C}$	0,01	$^{\circ}\text{C}$			4
u(M, Máy công cụ)			0,3	μm			C.6
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng của máy							
o u(E, Máy công cụ)	2,000	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	0,6	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$			4
o độ không đảm bảo của hệ số mở rộng của thước	2,000	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	5,1	μm			C.7
o u(E, Thiết bị)			0,6	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$			4
u(Nhiệt độ)			1,0	μm			C.7
			1,5	μm			C.8
EVE, sai số biến đổi môi trường							
o u(EVE)	1,700	μm					
			0,5	μm			
Khả năng lặp lại của thiết lập							
o bước và lác ngang lớn nhất	50,000	$\mu\text{m}/\text{m}$					
o bù Abbe giữa hai lần thiết lập	1,000	mm					
o thay đổi chiều dài đo	0,071	μm					C.11
u(Thiết lập)			0,0	μm			4
u(Điểm đo) tại chiều dài đo							
			1,7	μm			C.12
Số lần đo, n							
			5,0				
U(R+, R-)			1,0	μm	2,0	μm	C.13
U(B)			0,4	μm	0,9	μm	C.14
U(R)			1,1	μm	2,2	μm	C.15
U(E, E+, E-)			1,7	μm	3,3	μm	C.16
U(M)			1,7	μm	3,3	μm	C.16
U(A)			1,9	μm	3,9	μm	C.17
Hiệu chỉnh các giá trị khả năng lặp lại							
	Không hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh					
R+ theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,9	2,1	μm				C.10
R- theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	2,5	1,5	μm				C.10
s+(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,7	0,5	μm				C.10
s-(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	0,6	0,3	μm				C.10
B(9) cho R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	3,9		μm				C.10
R theo Bảng 2, TCVN 7011-2 (ISO 230-2)	6,5	5,6	μm				C.10

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] ANSI B89.6.2:1998, Temperature and Humidity Environment for Dimensional Measurement
(Nhiệt độ và độ ẩm môi trường đối với phép đo kích thước)
-