

MODERNIZATION OF THE UNIVERSAL MEASURING MICROSCOPE MODEL UIM-21 FOR USE IN PRECISION MECHANICS

Bui Duc Bien

Institute of Technology - General Department of Military Industries and Manufacture

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 07/5/2024	In precision mechanics, measuring microscopes are widely used to determine mechanical parts' linear and angular dimensions in perpendicular Cartesian coordinates or polar coordinates. Currently, many older-generation measuring microscopes have degraded optical systems, making the measurement process difficult, and causing large errors, the calculations are done manually, leading to low measurement productivity. Research aims to modernize these devices by replacing the classic optical measuring system with an electronic optical measuring system and building calculation support software to restore degraded functions, and improve performance and accuracy. The measurement software is developed using the Graphic programming language, integrating basic measurements based on data from the linear scale system, allowing storage of results and measurement information. The modernized measuring microscope has important measurement parameters such as measuring range up to 200 mm, resolution 0.0002 mm, and error not exceeding $(3 + L/30) \mu\text{m}$ where L is the length measured in mm. Specialized measurement software helps decrease the time required for each measurement, enhances productivity, and offers greater convenience to users.
Revised: 10/6/2024	
Published: 11/6/2024	
KEYWORDS	
Measuring microscope	
Optical linear scale	
Digital readout	
Labview software	
Uncertainty of measurement	

HIỆN ĐẠI HÓA KÍNH HIỂN VI ĐO LƯỜNG VẠN NĂNG UIM-21 SỬ DỤNG TRONG CƠ KHÍ CHÍNH XÁC

Bùi Đức Biên

Viện Công nghệ - Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 07/5/2024	Trong cơ khí chính xác, kính hiển vi đo lường được sử dụng rộng rãi để xác định các kích thước thẳng và kích thước góc của các chi tiết cơ khí trong hệ tọa độ đề các vòng góc hoặc tọa độ cực. Hiện nay, nhiều kính hiển vi đo lường thế hệ cũ có hệ quang học đã xuống cấp dẫn đến quá trình đo gặp nhiều khó khăn, gây ra sai số lớn, phần tính toán thực hiện thủ công nên năng suất đo không cao. Nghiên cứu hướng đến hiện đại hóa các thiết bị này bằng cách thay thế hệ thống đo quang học kiểu cổ điển bằng hệ thống thước quang điện tử và xây dựng phần mềm hỗ trợ tính toán cho phép khôi phục các chức năng đã xuống cấp, nâng cao hiệu suất và độ chính xác. Phần mềm đo được phát triển sử dụng ngôn ngữ lập trình Graphic, tích hợp các bài đo cơ bản trên cơ sở dữ liệu thu được từ hệ thống thước quang, cho phép lưu trữ kết quả và thông tin phép đo. Kính hiển vi đo lường sau hiện đại hóa có thông số đo lường quan trọng như phạm vi đo tới 200 mm, độ phân giải 0,0002 mm, sai số không vượt quá $(3 + L/30) \mu\text{m}$ với L là chiều dài đo tính bằng mm. Phần mềm đo chuyên dụng góp phần làm giảm thời gian trên mỗi lần đo, nâng cao năng suất và tiện lợi hơn cho người sử dụng.
Ngày hoàn thiện: 10/6/2024	
Ngày đăng: 11/6/2024	
TỪ KHÓA	
Kính hiển vi đo lường	
Thước quang điện tử	
Khối đọc kỹ thuật số	
Phần mềm Labview	
Độ không đảm bảo đo	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.10311>

Email: bienbd.mcit@gmail.com

<http://jst.tnu.edu.vn>

205

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Ngày nay, kính hiển vi là một thiết bị không thể thiếu trong nhiều lĩnh vực khác nhau, trong đó có sinh học, y khoa, vật liệu và nhiều ngành khoa học kỹ thuật khác [1] - [3]. Đây là thiết bị dùng để quan sát các vật thể có kích thước nhỏ mà mắt thường không thể thấy được bằng cách tạo ra các hình ảnh phóng đại của nó. Kính hiển vi đo lường là một dạng kính hiển vi kết hợp giữa việc quan sát điểm đo và bộ phận đọc số dịch chuyển giúp chúng ta có thể xác định được kích thước của vật thể cần đo, đây là phương pháp đo không tiếp xúc có độ chính xác cao và được ứng dụng rất nhiều trong kiểm tra kích thước các chi tiết cơ khí chính xác [4]. Một số công ty lớn dẫn đầu về lĩnh vực này như Altami, Melytec, Siams, NPK Zenit của Liên Bang Nga và Olympus, Leica, Nikon, Mitutoyo của Nhật Bản [5], [6].

Tại hầu hết các công ty cơ khí chính xác, các viện nghiên cứu cơ khí và các cơ sở đo lường đều được trang bị kính hiển vi đo lường vạn năng. Cụ thể, tại các nhà máy cơ khí chính xác thuộc Tổng cục Công nghiệp quốc phòng (CNQP), kính hiển vi đo lường được sử dụng khá hiệu quả, giúp đảm bảo kỹ thuật cho sản xuất quốc phòng [7], [8]. Tuy nhiên, tại nhiều đơn vị, các kính hiển vi đo lường thế hệ cũ được đầu tư, viện trợ từ thập niên 70 có hệ thống quang học và cơ cấu đọc tọa độ đã xuống cấp, nhiều kính hiển vi hiện tại không sử dụng được, mặc dù hệ thống dịch chuyển cơ khí vẫn còn hoạt động tốt. Bên cạnh đó, các kính hiển vi đo lường thế hệ cũ có phương pháp đo phức tạp dễ dẫn đến sai số và không có phần mềm hỗ trợ tính toán, lưu trữ dữ liệu dẫn đến hiệu suất làm việc chưa cao.

Để giải quyết các vấn đề nêu trên, hiện nay nhiều cơ sở đo lường đã tiến hành hiện đại hóa các kính hiển vi đo lường thế hệ cũ, nổi bật nhất là dòng thiết bị UIM do Liên Xô và Zeiss Jena do CHDC Đức sản xuất. Trong số đó, các phiên bản nâng cấp khác nhau, tích hợp hệ thống đo quang điện tử và phần mềm hỗ trợ tính toán được phát triển ở nhiều nước tiên tiến trên thế giới như hệ thống của Liên Bang Nga, Ukraina, Đức [9] - [11]. Các kính hiển vi này sau khi hiện đại hóa đã được sử dụng rộng rãi trong các cơ sở đo lường, các đơn vị sản xuất phục vụ cho việc đo kiểm các chi tiết cơ khí yêu cầu độ chính xác cao. Ở Việt Nam trong những năm gần đây mới chỉ có một số kính hiển vi đo lường được hiện đại hóa là sản phẩm của các đề tài khoa học, các sáng kiến cấp cơ sở, được áp dụng tương đối hạn chế tại các nhà máy thuộc Tổng cục CNQP.

Bài báo trình bày chi tiết về quá trình nghiên cứu, lựa chọn bộ thước quang điện tử cùng với thiết kế hệ thống đồ gá cơ khí và xây dựng phần mềm xử lý dữ liệu đo để hiện đại hóa kính hiển vi đo lường kiểu UIM-21 do Liên Xô sản xuất. Hệ thống đồ gá cơ khí được chế tạo với độ chính xác cao và có thể hiệu chỉnh vị trí thước quang trong quá trình căn chỉnh sai số thiết bị. Khối cảm biến vị trí trên kính hiển vi đo lường tích hợp 02 thước quang điện tử cùng với 01 khối đọc kỹ thuật số để tiếp nhận, xử lý và hiển thị thông tin vị trí. Bên cạnh đó, khả năng xuất dữ liệu dưới dạng mã BCD của khối đọc kỹ thuật số cho phép phát triển phần mềm xử lý dữ liệu đo chứa các phép đo cơ bản trong đo lường cơ khí chính xác, ứng dụng ngôn ngữ lập trình Graphic của phần mềm Labview.

Các giải pháp về phần cứng và phần mềm nêu trên góp phần nâng cao độ chính xác của phép đo và năng suất đo của thiết bị do giảm được sai số gây ra bởi người đo và thời gian vận hành khi loại bỏ thao tác đọc tọa độ các điểm qua hệ kính hiển vi đọc và tính toán kết quả một cách thủ công. Đây là một trong các sản phẩm đầu tiên được nghiên cứu và đã được ứng dụng thành công tại các cơ sở đo lường (phòng KCS) thuộc Tổng cục CNQP với nhiều ưu điểm như chi phí hiện đại hóa thấp, tận dụng được các kính hiển vi đo lường thế hệ cũ có hệ chuyển động cơ khí còn tốt và chính xác, phần mềm hỗ trợ tính toán có dung lượng thấp, giao diện người dùng dễ sử dụng.

2. Phương pháp hiện đại hóa kính hiển vi đo lường

2.1. Thông số kỹ thuật của kính hiển vi đo lường

Bộ thông số kỹ thuật đo lường của kính hiển vi đo lường vạn năng kiểu UIM-21 do Liên Xô sản xuất được trình bày chi tiết trong Bảng 1. Căn cứ vào những thông số kỹ thuật này để lựa

chọn hệ thống thước quang điện tử và khối đọc kỹ thuật số, hệ thống đồ gá cơ khí và phần mềm tính toán chuyên dụng đảm bảo đạt được hoặc vượt các giá trị này.

Bảng 1. Bảng thông số kỹ thuật của kính hiển vi đo lường UIM-21

STT	Thông số kỹ thuật	Giá trị
1	Phạm vi đo	Trục X: (0 đến 200) mm Trục Y: (0 đến 100) mm
2	Độ phân giải	0,0002 mm
3	Sai số	Không vượt quá $(3 + L/30)$ μm theo trục X Không vượt quá $(3 + L/50)$ μm theo trục Y với L là chiều dài đo, mm

2.2. Lựa chọn hệ thống thước quang điện tử và thiết kế hệ thống đồ gá cơ khí

Hiện nay, có nhiều phương pháp khác nhau để xác định vị trí và dịch chuyển trong đo lường cơ khí chính xác. Việc lựa chọn bộ cảm biến vị trí phù hợp tùy theo các yêu cầu, thông số kỹ thuật mà thiết bị cần đạt được. Với các loại kính hiển vi đo lường hiện nay, hệ thống cảm biến vị trí phổ biến nhất được sử dụng là thước quang điện tử [12]. Việc lựa chọn thông số đo lường của bộ thước quang điện tử được tiến hành thông qua bài toán tối ưu hóa sai số và độ phân giải của thước, sao cho thỏa mãn điều kiện độ không đảm bảo đo mở rộng của thước quang không lớn hơn độ không đảm bảo đo lớn nhất của kính hiển vi đo lường.

Độ không đảm bảo đo mở rộng U_{iq} của thước quang được xác định theo công thức [14]:

$$U_{iq} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta_{iq}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad (1)$$

trong đó: Δ_{iq} – sai số của thước quang; b – độ phân giải của thước quang.

Tiến hành lựa chọn thước quang sao cho thỏa mãn điều kiện $U_{iq} \leq U_{\max, \text{UIM-21}}$, theo tiêu chuẩn ISO/IEC 98-4:2012, $U_{\max, \text{UIM-21}} = \Delta L_{\max}/3$, với ΔL_{\max} sai số cho phép lớn nhất của kính hiển vi UIM-21. Khi đó ta có biểu thức:

$$2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta_{iq}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2\sqrt{3}}\right)^2} \leq \frac{\Delta L_{\max}}{3} \quad (2)$$

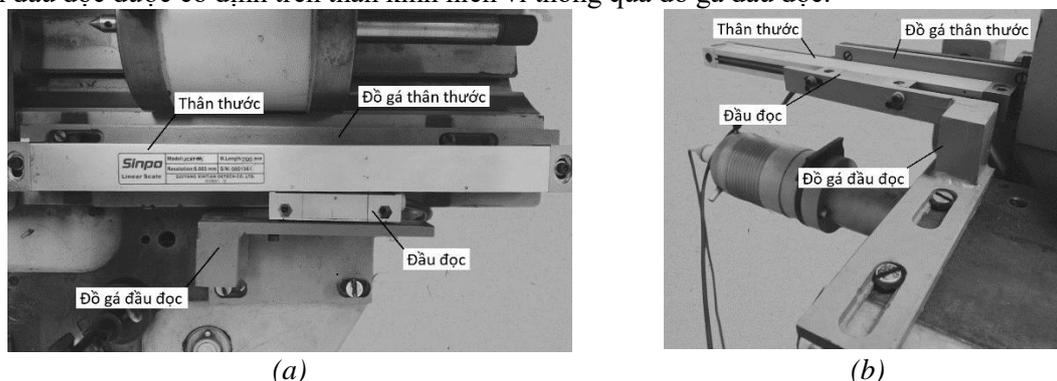
Từ công thức (2), ta có biểu thức phụ thuộc của độ phân giải vào độ chính xác của thước quang và sai số cho phép lớn nhất của kính hiển vi:

$$b \leq \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta L_{\max}}{6}\right)^2 - \left(\frac{\Delta_{iq}}{2}\right)^2\right]} \cdot 12 \quad (3)$$

Thay $\Delta L_{\max} = 3 + L/30 = 9,67 \mu\text{m}$, với L là phạm vi đo lớn nhất của thiết bị, bằng 200 mm; $\Delta_{iq} = 3 \mu\text{m}$ (lựa chọn thước quang có độ chính xác nhỏ hơn 3 lần sai số cho phép lớn nhất ΔL_{\max} của kính hiển vi UIM-21), ta có biểu thức độ phân giải của thước quang: $b \leq 2,02 \mu\text{m}$. Trên cơ sở giá trị độ phân giải lớn nhất vừa xác định được, kết hợp với độ phân giải của kính hiển vi đo lường UIM-21 trước khi cải tiến, số hóa (bằng 0,0002 mm), tiến hành lựa chọn thước quang điện tử dòng JCXE của hãng SINPO có độ phân giải 0,2 μm và khối đọc kỹ thuật số kiểu DROII đi kèm để nhận, xử lý và hiển thị dữ liệu.

Để tích hợp các thước quang điện tử trên kính hiển vi đo lường cần thiết kế, chế tạo đồ gá có độ chính xác cao và có thể hiệu chỉnh được vị trí thước quang trong quá trình căn chỉnh sai số thiết bị. Đồ gá được thiết kế gồm hai phần chính: đồ gá cố định đầu đọc thước quang và đồ gá thân thước quang di động dọc theo trục X và Y. Kết quả của quá trình thiết kế, chế tạo và lắp đặt đồ gá cho thước quang được minh họa ở Hình 1. Như đã mô tả bên trên, phần thân thước quang

được tích hợp vào cơ cấu dịch chuyển của trục X và Y thông qua đồ gá thân thước, trong khi đó phân đầu đọc được cố định trên thân kính hiển vi thông qua đồ gá đầu đọc.



Hình 1. Hệ thống đồ gá cơ khí cho thước quang (a): trục X, (b): trục Y

Để kiểm tra độ song song của thước quang và cơ cấu dịch chuyển cơ khí của kính hiển vi đo lường theo chiều dọc và chiều vuông góc với thân thước, ta sử dụng đồng hồ so hoặc thiết bị đo lường có chức năng tương tự thực hiện theo quy trình khuyến nghị của nhà sản xuất. Điều chỉnh đồ gá thân thước sao cho độ song song cho phép đồng thời ở các chiều không vượt quá 0,1 mm hoặc 0,2 mm, khe hở lớn nhất giữa đầu đọc và thân thước không vượt quá 1,5 mm [13].

2.3. Xây dựng phần mềm xử lý dữ liệu đo

Khối đọc kỹ thuật số DROII của hãng Sinpo có khả năng đưa dữ liệu về vị trí hiện tại của đầu đọc dưới dạng mã BCD ra cổng giao tiếp RS232 theo thời gian thực. Vì vậy, người dùng có thể tiến hành truy xuất, giải mã, xử lý dữ liệu, trên cơ sở đó xây dựng phần mềm tính toán các bài toán cơ bản trong đo lường cơ khí chính xác. Với ưu điểm dễ sử dụng, trực quan, thuật toán đơn giản và phổ biến trong lĩnh vực đo lường, điều khiển, ngôn ngữ lập trình Graphic của môi trường phát triển Labview đã được sử dụng.

2.3.1. Phương trình toán học của các phép đo cơ bản trong đo lường cơ khí chính xác

Khoảng cách giữa hai điểm **A** (x_A, y_A); **B** (x_B, y_B):

$$AB = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (4)$$

Khoảng cách từ một điểm **C** (x_C, y_C) đến đường thẳng đi qua hai điểm **A** (x_A, y_A); **B** (x_B, y_B):

$$C \perp AB = \frac{|(x_C - x_A)(y_B - y_A) - (y_C - y_A)(x_B - x_A)|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}} \quad (5)$$

Bán kính đường tròn đi qua ba điểm không thẳng hàng **A** (x_A, y_A); **B** (x_B, y_B); **C** (x_C, y_C):

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} - c, \text{ trong đó:} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^2 + y_A^2 \\ x_B^2 + y_B^2 \\ x_C^2 + y_C^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2x_A & 2y_A & -1 \\ 2x_B & 2y_B & -1 \\ 2x_C & 2y_C & -1 \end{bmatrix}^{-1} \quad (7)$$

Khoảng cách tâm hai đường tròn **O** và **O'** đi lần lượt đi qua sáu điểm không thẳng hàng **A** (x_A, y_A); **B** (x_B, y_B); **C** (x_C, y_C) và **D** (x_D, y_D); **E** (x_E, y_E); **F** (x_F, y_F):

$$OO' = \sqrt{(a - d)^2 + (b - e)^2}, \text{ trong đó:} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^2 + y_A^2 \\ x_B^2 + y_B^2 \\ x_C^2 + y_C^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2x_A & 2y_A & -1 \\ 2x_B & 2y_B & -1 \\ 2x_C & 2y_C & -1 \end{bmatrix}^{-1} \quad \text{và} \quad \begin{bmatrix} d \\ e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_D^2 + y_D^2 \\ x_E^2 + y_E^2 \\ x_F^2 + y_F^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2x_D & 2y_D & -1 \\ 2x_E & 2y_E & -1 \\ 2x_F & 2y_F & -1 \end{bmatrix}^{-1} \quad (9)$$

Góc tạo bởi hai đường thẳng đi qua bốn điểm **A** (x_A, y_A); **B** (x_B, y_B) và **C** (x_C, y_C); **D** (x_D, y_D):

$$\angle(AB, CD) = \tan^{-1} \left| \frac{(y_B - y_A)(x_D - x_C) - (y_D - y_C)(x_B - x_A)}{(x_B - x_A)(x_D - x_C) - (y_B - y_A)(y_D - y_C)} \right| \quad (10)$$

2.3.2. Thuật toán làm việc của phần mềm

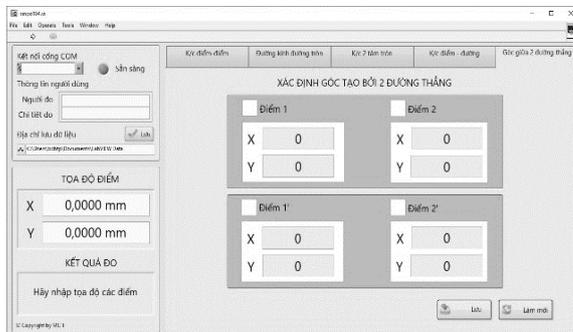
Phần mềm nhận và xử lý dữ liệu từ khối đọc kỹ thuật số DROII được phát triển trong môi trường lập trình Labview, sử dụng ngôn ngữ Graphic. Giao diện của phần mềm và lưu đồ thuật toán được minh họa tại Hình 2 và Hình 3a. Theo lưu đồ thuật toán, trước tiên người sử dụng tiến hành khai báo thông tin cổng kết nối và dữ liệu người dùng (bao gồm tên người đo và chi tiết đo), sau khi phần mềm kết nối với khối đọc kỹ thuật số DROII thành công, dữ liệu tọa độ của các đầu đo theo trục X, Y được hiển thị trực tiếp trên giao diện phần mềm theo thời gian thực. Tiếp theo người dùng tiến hành lựa chọn bài đo, trong phần mềm được tích hợp 05 bài đo cơ bản trong đo lường cơ khí chính xác, bao gồm:

- xác định khoảng cách giữa hai điểm (p-p) bằng công thức (4);
- xác định khoảng cách từ một điểm tới một đường thẳng (p-l) bằng công thức (5);
- xác định bán kính đường tròn đi qua ba điểm không thẳng hàng (rc) bằng công thức (6);
- xác định khoảng cách tâm hai đường tròn đi qua sáu điểm (c-c) bằng công thức (8);
- xác định góc tạo bởi hai đường thẳng đi qua bốn điểm (ang) bằng công thức (10).



Hình 2. Lưu đồ thuật toán

Để dễ tiếp cận với người dùng, phần mềm cho phép thay đổi linh hoạt giữa các bài đo, cập nhật lại giá trị các điểm đo đã được lưu trước đó hoặc xóa tất cả các dữ liệu đo để bắt đầu một bài đo mới một cách nhanh chóng. Ngoài ra, để phục vụ cho việc sao lưu, đối chiếu, phần mềm còn cho phép lưu kết quả của các phép đo cùng các thông tin về thời gian, người đo và chi tiết đo dưới dạng văn bản. Kính hiển vi đo lường UIM-21 sau khi cải tiến, số hóa được minh họa tại Hình 3b.



(a)



(b)

Hình 3. Giao diện phần mềm và kính hiển vi kiểu UIM-21 sau hiện đại hóa

3. Đánh giá thông số kỹ thuật đo lường và hiệu suất của kính hiển vi sau hiện đại hóa

3.1. Đánh giá độ phân giải, phạm vi đo và sai số của kính hiển vi đo lường sau hiện đại hóa

Kính hiển vi đo lường UIM-21 sau hiện đại hóa cần phải được đánh giá thông số kỹ thuật đo lường trước khi đưa vào sử dụng. Để đánh giá, ta sử dụng thước kính chuẩn HL1-200 của hãng Mitutoyo có dải đo (0 đến 200) mm, giá trị độ chia 0,1 mm với độ không đảm bảo đo mở rộng $U_{TK} = (0,2 + 1L) \mu\text{m}$ với L tính bằng mét, độ tin cậy $P = 95\%$ và hệ số phủ $k = 2$ (được cung cấp bởi Viện Đo lường Việt Nam).

Để đánh giá phạm vi đo và sai số của kính hiển vi, ta xác định khoảng cách giữa hai điểm trên thước kính chuẩn HL1-200. Tại mỗi điểm đo, phép đo được thực hiện lặp lại 05 lần, trên cơ sở các giá trị nhận được tiến hành xác định độ lệch chuẩn σ , sai số đo Δ và sai số cho phép Δ_{cp} . Lần lượt thực hiện theo trục X và trục Y. Kết quả thực nghiệm được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả xác định khoảng cách trên thước kính chuẩn HL1-200

Giá trị mẫu, mm	Kết quả đo theo trục X				Kết quả đo theo trục Y			
	Giá trị trung bình, mm	Độ lệch chuẩn σ , μm	Sai số ΔX , mm	Sai số cho phép ΔX_{cp} , μm	Giá trị trung bình, mm	Độ lệch chuẩn σ , μm	Sai số ΔY , mm	Sai số cho phép ΔY_{cp} , μm
1	1,0002	0,09	0,2	$\pm 3,0$	1,0001	0,16	0,1	$\pm 3,0$
5	4,9997	0,11	-0,3	$\pm 3,2$	4,9997	0,10	-0,3	$\pm 3,1$
10	10,0004	0,20	0,4	$\pm 3,3$	9,9997	0,10	-0,3	$\pm 3,2$
15	15,0004	0,14	0,4	$\pm 3,5$	15,0004	0,15	0,4	$\pm 3,3$
20	19,9995	0,23	-0,5	$\pm 3,7$	19,9994	0,20	-0,6	$\pm 3,4$
25	25,0005	0,23	0,5	$\pm 3,8$	25,0006	0,23	0,6	$\pm 3,5$
30	30,0006	0,36	0,6	$\pm 4,0$	30,0008	0,15	0,8	$\pm 3,6$
35	35,0006	0,32	0,6	$\pm 4,2$	35,0010	0,13	1,0	$\pm 3,7$
40	39,9992	0,37	-0,8	$\pm 4,3$	39,9992	0,28	-0,8	$\pm 3,8$
45	44,9992	0,37	-0,8	$\pm 4,5$	45,0010	0,15	1,0	$\pm 3,9$
50	49,9991	0,23	-0,9	$\pm 4,7$	49,9991	0,10	-0,9	$\pm 4,0$
55	55,0009	0,11	0,9	$\pm 4,8$	55,0010	0,15	1,0	$\pm 4,1$
60	59,9991	0,11	-0,9	$\pm 5,0$	60,0012	0,13	1,2	$\pm 4,2$
65	64,9992	0,20	-0,8	$\pm 5,2$	65,0012	0,15	1,2	$\pm 4,3$
70	69,9989	0,39	-1,1	$\pm 5,3$	69,9989	0,10	-1,1	$\pm 4,4$
75	74,9989	0,18	-1,1	$\pm 5,5$	75,0009	0,41	0,9	$\pm 4,5$
80	80,0011	0,50	1,1	$\pm 5,7$	80,0012	0,15	1,2	$\pm 4,6$
85	84,9990	0,54	-1,0	$\pm 5,8$	85,0012	0,15	1,2	$\pm 4,7$
90	89,9989	0,58	-1,1	$\pm 6,0$	89,9987	0,10	-1,3	$\pm 4,8$
95	95,0012	0,17	1,2	$\pm 6,2$	95,0013	0,12	1,3	$\pm 4,9$
100	100,0013	0,23	1,3	$\pm 6,3$	100,0013	0,16	1,3	$\pm 5,0$
120	119,9987	0,11	-1,3	$\pm 7,0$				
140	139,9986	0,14	-1,4	$\pm 7,7$				
160	160,0014	0,26	1,4	$\pm 8,3$				
180	180,0015	0,11	1,5	$\pm 9,0$				
200	200,0016	0,14	1,6	$\pm 9,7$				

Để đảm bảo độ tin cậy cho mọi điểm đo, ta tiến hành lựa chọn từ Bảng 2 giá trị độ lệch chuẩn lớn nhất để xác định độ không đảm bảo đo cho toàn dải đo của thiết bị, ta có $\sigma_{X_{\max}} = 0,58 \mu\text{m}$ tại chiều dài đo $L_X = 90 \text{ mm}$ theo trục X và $\sigma_{Y_{\max}} = 0,41 \mu\text{m}$ tại chiều dài đo $L_Y = 75 \text{ mm}$ theo trục Y.

Tại điểm các đo này, độ không đảm bảo đo mở rộng U được xác định theo công thức [14]:

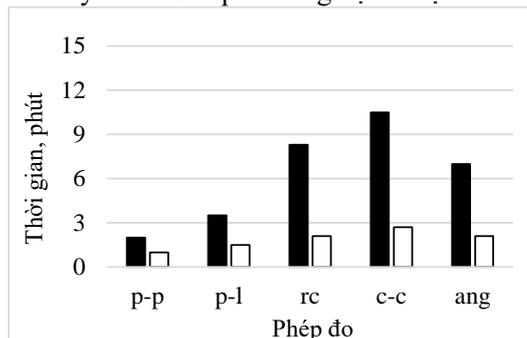
$$U = k \cdot \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma(L)}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{TK}}{k}\right)^2 + \left(\frac{b}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad (11)$$

trong đó: u_A - độ không đảm bảo đo loại A; u_{B1} - độ không đảm bảo đo loại B do chuẩn; u_{B2} - độ không đảm bảo đo loại B do độ phân giải của thiết bị; $\sigma(L)$ - độ lệch chuẩn tại điểm đo xác định, bằng $\sigma_{X_{\max}}$ và $\sigma_{Y_{\max}}$; U_{TK} - độ không đảm bảo đo của thước kính chuẩn, bằng $(0,2 + 1L)$ μm ; k - hệ số phủ của độ không đảm bảo đo của chuẩn, bằng 02; b - độ phân giải của bộ thước quan điện tử, bằng 0,2 μm ; n - số lần thực hiện phép đo tại mỗi điểm đo, bằng 05.

Thay các giá trị $\sigma_{X_{\max}}$, L_X và $\sigma_{Y_{\max}}$, L_Y vào công thức (11), với xác suất tin cậy $P = 95\%$ và hệ số phủ $k = 2$, ta nhận được giá trị độ không đảm bảo đo mở rộng theo các trục X, Y như sau: $U_X = 0,68$ (μm) và $U_Y = 0,58$ (μm). Từ các giá trị U_X , U_Y nhận được, kết hợp với các giá trị ΔX , ΔY từ Bảng 2, ta có trên toàn bộ dải đo của kính hiển vi đo lường, sai số đo thỏa mãn điều kiện: $(\Delta X \pm U_X) < \Delta X_{cp}$ và $(\Delta Y \pm U_Y) < \Delta Y_{cp}$. Như vậy sau hiện đại hóa, sai số đo của kính hiển vi đo lường UIM-21 nằm trong miền giá trị cho phép của thiết bị.

3.2. Đánh giá hiệu suất của kính hiển vi đo lường sau hiện đại hóa

Để đánh giá hiệu suất của kính hiển vi đo lường sau khi hiện đại hóa, ta tiến hành xác định thời gian cần thiết để thực hiện cùng một phép đo trên cùng một vật chuẩn. Đối với kính hiển vi đo lường trước cải tiến, ta tiến hành lấy các điểm đo thông qua thị kính, sau đó xác định tọa độ các điểm bằng các kính hiển vi đọc được lắp trên trục X, trục Y và tính toán kết quả đo theo các công thức ở mục 2.3.1 một cách thủ công. Đối với kính hiển vi sau cải tiến, ta cũng tiến hành lấy điểm đo thông qua thị kính, sau đó trên phần mềm tiến hành nhận dữ liệu đo và đọc kết quả đo được hiển thị trên màn hình máy tính. Kết quả thí nghiệm được minh họa tại hình 4.



Hình 4. Thời gian thực hiện các phép đo của kính hiển vi đo lường UIM-21 trước (màu đen) và sau (màu trắng) hiện đại hóa

Từ Hình 4 ta thấy, khoảng thời gian cần thiết để thực hiện các phép đo của kính hiển vi đo lường sau hiện đại hóa đã giảm xuống rõ rệt, điều này góp phần nâng cao đáng kể năng suất làm việc và đem lại hiệu quả kinh tế thiết thực cho các đơn vị sản xuất.

4. Kết luận

Bài báo trình bày một cách chi tiết về quá trình hiện đại hóa kính hiển vi đo lường vạn năng thế hệ cũ kiểu UIM-21 do Liên Xô sản xuất. Các nghiên cứu được thực hiện nhằm lựa chọn loại cảm biến dịch chuyển phù hợp và thiết kế, chế tạo, lắp đặt bộ đồ gá cơ khí tương ứng, tích hợp trên hai trục đo của kính hiển vi. Các phép đo cơ bản thường gặp trong đo lường cơ khí chính xác được xây dựng phương trình toán học, trên cơ sở đó phát triển xử lý dữ liệu đo nhận được từ bộ thước quang điện tử. Các phép đo kiểm chứng thông số kỹ thuật đo lường của kính hiển vi sau hiện đại hóa đã được thực hiện trên chuẩn mẫu, đã được liên kết chuẩn tại Viện Đo lường Việt Nam.

Với các giải pháp về phần cứng và phần mềm nêu trên, kính hiển vi đo lường vạn năng kiểu UIM-21 có khả năng thực hiện các phép đo trong phạm vi đo tới 200 mm, độ phân giải 0,2 μm với sai số đo nằm trong phạm vi cho phép của thiết bị. Đặc biệt, với việc tự động hóa quá trình tính toán kết quả đo bằng phần mềm chuyên dụng, kính hiển vi đo lường sau hiện đại hóa có năng suất cao hơn, đem lại lợi ích kinh tế cho các đơn vị sử dụng. Sản phẩm đã được ứng dụng

trong thực tế sản xuất tại các nhà máy, xí nghiệp thuộc Tổng cục CNQP như Công ty Trách nhiệm hữu hạn một thành viên (TNHH MTV) Cơ khí hóa chất 13, Công ty TNHH MTV Cơ khí 25, Công ty TNHH MTV Cơ khí 29 và một số nhà máy khác. Hướng phát triển tiếp theo của công trình nghiên cứu là tích hợp thêm các bài đo mới phức tạp hơn, đa dạng hóa các chủng loại kính hiển vi đo lường thế hệ cũ có thể hiện đại hóa, nghiên cứu cải tiến kiến trúc của bộ thước quang điện tử, bộ đồ gá cơ khí và tích hợp thêm camera để tiếp tục nâng cao hơn nữa độ chính xác của các phép đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] Y. B. Kolyada, Y. S. Korolev, V. G. Razgulin, *et al.*, "Digital measuring microscope," *Measurement Techniques*, vol. 48, no. 5, pp. 445-449, 2005.
- [2] G. Bi, X. Che, Z. Yang, and A. Ma, "The measuring method for actual total magnification of metallographic microscope – digital image method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 397, 2018, Art. no. 012148.
- [3] V. I. Teleshevskii, A. V. Shulepov, and O. Y. Krasnyuk, "Computerization of measuring microscopes with digital analysis," *Measurement Techniques*, vol. 48, no. 8, pp. 797-802, 2006.
- [4] N. A. Vikhareva, "Estimation of errors of measurement methods on a universal measuring microscope," (in Russian), *Methods and materials*, vol. 8, pp. 176-183, 2021.
- [5] S. H. Jo, K. T. Kim, J. M. Seo, *et al.*, "Effect of impression coping and implant angulation on the accuracy of implant impressions: an in vitro study," *The Journal of advanced prosthodontics*, vol. 2, no. 4, pp. 128-133, 2010.
- [6] A. Novikov, A. Rodishev, A. Gorin, and M. Tokmakova, "Modeling and research of the process of preparing the surface of a part for thermal spray coating," *Matec Web of Conferences*, vol. 329, 2020, Art. no. 03052.
- [7] X. C. Le, V. V. Nguyen, and H. H. Hoang, "Research to improve the accuracy of roundness measurement by laser scan micrometer method," (in Vietnamese), in *Proc. the 7th National Metrology Conference*, Hanoi, 2020, pp. 253-258.
- [8] H. H. Hoang, X. C. Le, and V. V. Nguyen, "Non-contact measurement profile 2D of revolution surface by using a laser scan micrometer device," in *Proc. the 2th International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable Development*, Nha Trang, 2020, pp. 205-212.
- [9] R. N. Loginov and O. V. Aleksashina, "Modernization of the instrumental microscope," (in Russian), *Journal of Natural Sciences Research*, vol. 7, no. 4, pp. 27-38, 2022.
- [10] S. L. Bereznitskii, D. D. Bogachenko, I. V. Gaydaenko, *et al.*, "Modernization of the MAS-1 microscope for use in measurements of the spectra of interval conversion electrons," *Measurement Techniques*, vol. 52, no. 1, pp. 33-36, 2009.
- [11] M. Kuzinovski, T. Tasev, M. Tomov, *et al.*, "Modernisation of the universal measuring microscope model UIM-21 supported by a processor QM-Data 200," *Mechanical Engineering Scientific Journal*, vol. 27, no. 1, pp. 23-30, 2008.
- [12] V. D. Le, T. H. Pham, and V. H. Nguyen, *Sensors for Measurement and Control Engineering*, Hanoi, VN: Science and Technics Publishing House, (in Vietnamese), 2007.
- [13] Mitutoyo Corporation, "Scale units and display counters. Linear scale DRO systems," Catalog No. E13000. [Online]. Available: <https://www.mitutoyo.com>. [Accessed Nov. 01, 2023].
- [14] J. Lisiecki and S. Klysz, "Estimation of measurement uncertainty," *Research Works of Afit*, vol. 22, no. 1, pp. 81-114, 2007.