



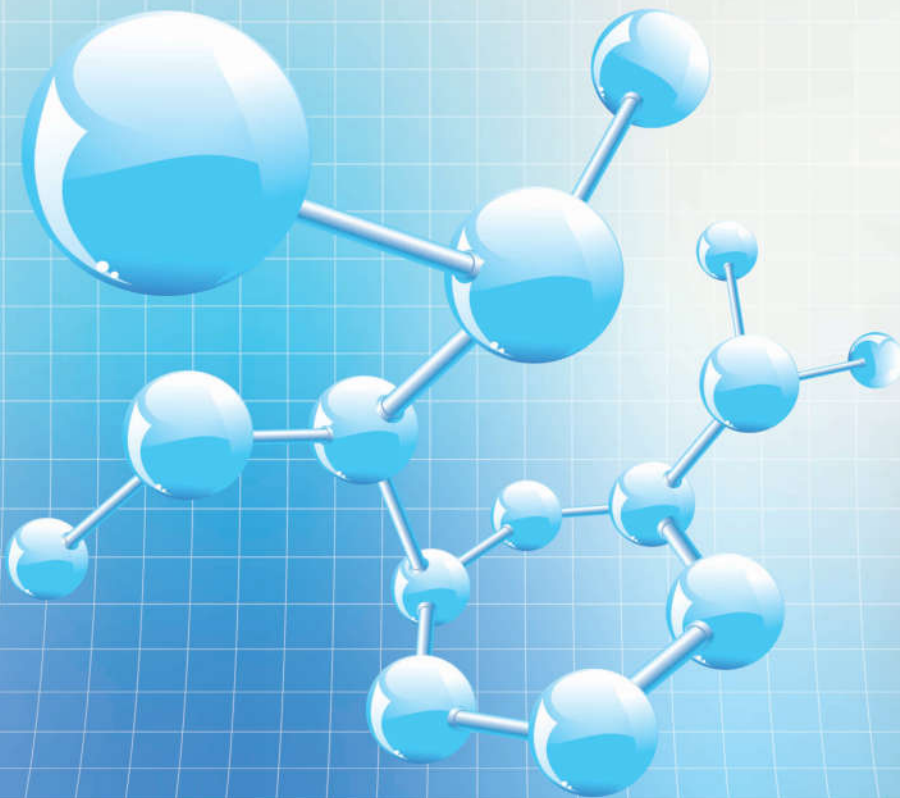
Tạp chí

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X



Số 1 (88)
2025

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đình

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liên

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/> Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- Nghiên cứu đánh giá hiệu quả của các mạng nhân tạo học sâu trong nhận dạng các tín hiệu ra-đa 5 Vũ Xuân Tùng
- Ứng dụng thuật toán tìm kiếm hấp dẫn mờ để tối ưu tham số cho mạng CNN trong nhận dạng 10 Nguyễn Thị Quyên
Nguyễn Thị Phương
Nguyễn Thị Phương Oanh
- Thiết kế các bộ điều khiển tách kênh cho hệ nhiều vào nhiều ra 17 Nguyễn Thu Hà
Đinh Thị Lan Anh
Cao Thành Trung
Chu Đức Việt
Nguyễn Đức Quang
- So sánh hiệu suất giữa bộ lọc FIR và LMS trong xử lý nhiễu tín hiệu điện não đồ EEG 24 Nguyễn Xuân Kiên
Bùi Phương Thảo
Đỗ Văn Đình

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ lái xe đến lượng tiêu thụ nhiên liệu của ô tô sử dụng số sàn bằng phần mềm Carsim 31 Vũ Thành Trung
Nguyễn Đình Cường
Lê Đức Thắng
Ngô Thị Mỹ Bình
- Nghiên cứu các tham số kích thước ảnh hưởng đến ứng suất của tấm phẳng có lỗ khoét hình tròn 37 Nguyễn Đức Hải
Nguyễn Văn Hình
Dương Thị Hà
Nguyễn Thị Liễu
- Ứng dụng phương pháp phần tử biên trên phần mềm SimSolid phân tích dao động của trục chính máy phay CNC 43 Mạc Văn Giang
Dương Thị Hà
Đào Văn Kiên
Mạc Thị Nguyên
Trịnh Văn Cường
- Nghiên cứu phương pháp ghép nối thép tấm với thép trụ bằng công nghệ hàn điện trở: Tổng quan - Phần 1 49 Huỳnh Nguyệt Khuyến
Ngô Hữu Mạnh
Trần Văn An
- Nghiên cứu ổn định chuyển động của xe khách 16 chỗ trong điều kiện gió ngang 55 Đỗ Tiến Quyết
Phùng Đức Hải Anh
Nguyễn Lương Căn

NGÀNH KINH TẾ

- Nợ và quản lý nợ nước ngoài tại Việt Nam 60 Nguyễn Minh Tuấn
Phạm Thị Hồng Hoa
- Ứng dụng công nghệ mới vào hoạt động kế toán quản trị tại các công ty may trên địa bàn tỉnh Hải Dương 68 Vũ Thị Lý
- Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến sự hài lòng khi mua sắm tại Aeon mall Hà Đông 74 Nguyễn Thị Ngọc Mai
- Giải pháp hoàn thiện tổ chức công tác kế toán môi trường tại các doanh nghiệp sản xuất trên địa bàn tỉnh Hải Dương 80 Vũ Thị Lý
Lương Thị Hoa
Vũ Thị Thanh Thủy

NGÀNH HÓA HỌC - THỰC PHẨM

- Tối ưu một số điều kiện để sản xuất cây giống Hoàng đàn (*Cupressus torulosa* D. Don) bằng kỹ thuật nhân giống vô tính tại Vườn Quốc gia Hoàng Liên, Lào Cai 86 Vũ Đức Quyền
Dương Toàn Thắng
Dương Quyết Chiến
Nguyễn Văn Sang

NGÀNH KHOA HỌC GIÁO DỤC

- Dạy học theo mô hình 5E để phát triển năng lực giải quyết vấn đề công nghệ cho sinh viên ngành Sư phạm Công nghệ 93 Lê Ngọc Hòa
Trần Duy Khánh

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Vai trò của giảng viên lý luận chính trị với nhiệm vụ bảo vệ nền tảng tư tưởng của Đảng, đấu tranh phản bác các quan điểm sai trái, thù địch 99 Nguyễn Thị Nhan
Phan Hoàng Đức
- Phát triển nông nghiệp bền vững vùng Đồng bằng sông Hồng và những yếu tố tác động 105 Vũ Văn Đông
Vũ Văn Chương
Vũ Hồng Phong
- Tư tưởng nhân văn của Hồ Chí Minh và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay 111 Đỗ Thị Thùy
Đặng Thị Dung
Phạm Thị Mai
- Nâng cao ý thức chính trị của sinh viên Việt Nam trong bối cảnh hiện nay 117 Nguyễn Thị Hiền
- Chuyển đổi số trong giảng dạy các môn Lý luận chính trị ở Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 123 Phạm Xuân Đức

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

- Research on evaluating the performance of deep learning networks in radar signal recognition 5 Vu Xuan Tung
- Application of fuzzy attractive search algorithm to optimize parameters for CNN network in recognition 10 Nguyen Thi Quyen
Nguyen Thi Phuong
Nguyen Thi Phuong Oanh
- Design of decoupling controllers for Multi-Input Multi-Output systems 17 Nguyen Thu Ha
Dinh Thi Lan Anh
Cao Thanh Trung
Chu Duc Viet
Nguyen Duc Quang
- Performance comparison between FIR and LMS filters in noise processing of EEG signals 24 Nguyen Xuan Kien
Bui Phuong Thao
Do Van Dinh

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- Study on the impact of driving modes on fuel consumption of manual transmission cars using Carsim software 31 Vu Thanh Trung
Nguyen Dinh Cuong
Le Duc Thang
Ngo Thi My Binh
- Investigation of dimensional parameters affecting the stress in plate with circular cut-out 37 Nguyen Duc Hai
Nguyen Van Hinh
Duong Thi Ha
Nguyen Thi Lieu
- Application of the boundary element method on SimSolid software to analyze the vibrations of the CNC milling machine spindle 43 Mac Van Giang
Duong Thi Ha
Dao Van Kien
Mac Thi Nguyen
Trinh Van Cuong
- Study on joining of sheet and cylindrical steels by the arc stud welding technology: Review - Part 1 49 Huynh Nguyet Khuyen
Ngo Huu Manh
Tran Van An
- Research on the Stability of a 16-Seat Minivan under Crosswind 55 Do Tien Quyet
Phung Duc Hai Anh
Nguyen Luong Can

TITLE FOR ECONOMICS

- Debt and foreign debt management in Vietnam 60 Nguyen Minh Tuan
Pham Thi Hong Hoa
- Applying new technology to management accounting activities at
garment companies in Hai Duong province 68 Vu Thi Ly
- Research factors affecting satisfaction when shopping at Aeon mall
Ha Dong 74 Nguyen Thi Ngoc Mai
- Solutions to improve environmental accounting work at manufactur-
ing enterprises in Hai Duong province 80 Vu Thi Ly
Luong Thi Hoa
Vu Thi Thanh Thuy

TITLE FOR CHEMISTRY - FOOD

- Optimization of some conditions for production of cypress seedlings
(*Cupressus torulosa* D. Don) using asexual propagation technique
at Loang Lien National park, Lao Cai 86 Vu Duc Quyen
Duong Toan Thang
Duong Quyet Chien
Nguyen Van Sang

TITLE FOR EDUCATION SCIENCE

- Teaching according to the 5E model to develop technological problem-
solving competences for students majoring in Technology Education 93 Le Ngoc Hoa
Tran Duy Khanh

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- The role of political theory lecturers with the task of protecting the
Party's ideological foundation and fighting against erroneous and
hostile viewpoints 99 Nguyen Thi Nhan
Phan Hoang Duc
- Sustainable agricultural development in the red river and the influ-
encing factors 105 Vu Van Dong
Vu Van Chuong
Vu Hong Phong
- Humanitarian thoughts of Ho Chi Minh and the current application
by the Communist Party of Vietnam 111 Do Thi Thuy
Dang Thi Dung
Pham Thi Mai
- Raising political awareness of Vietnamese students in the current
context 117 Nguyen Thi Hien
- Digital transformation in teaching Political Theory subjects at Sao
Do University in the current period 123 Pham Xuan Duc

Ứng dụng phương pháp phần tử biên trên phần mềm SimSolid phân tích dao động của trục chính máy phay CNC

Application of the boundary element method on SimSolid software to analyze the vibrations of the CNC milling machine spindle

Mạc Văn Giang*, Dương Thị Hà, Đào Văn Kiên,
Mạc Thị Nguyên, Trịnh Văn Cường

*Tác giả liên hệ: macvngiang@gmail.com

Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 28/9/2024

Ngày nhận bài sửa sau phân biện: 28/02/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/02/2025

Tóm tắt

Dao động của cụm trục chính ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác và chất lượng gia công của máy phay CNC Xmill - M900. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết về phương pháp phần tử biên (BEM) và ứng dụng phương pháp này trên phần mềm SimSolid để xác định tần số dao động riêng và dự báo biên độ dao động khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Ngoài ra, bài báo cũng phân tích tần số và biên độ của dao động cưỡng bức của máy phay CNC Xmill - M900 trong điều kiện làm việc tối đa công suất, nhằm đánh giá và tránh hiện tượng cộng hưởng trong quá trình vận hành máy.

Từ khóa: Phương pháp phần tử biên; phương pháp phần tử hữu hạn; phân tích; tần số; biên độ; dao động riêng; dao động cưỡng bức; trục chính; máy phay CNC.

Abstract

The vibrations of the spindle assembly significantly impact the machining accuracy and quality of the Xmill - M900 CNC milling machine. Therefore, this paper presents the theoretical basis of the Boundary Element Method (BEM) and its application in SimSolid software to determine natural vibration frequencies and predict vibration amplitude under resonance conditions. Additionally, the paper analyzes the frequency and amplitude of forced vibrations of the Xmill - M900 CNC milling machine under maximum power working conditions, to assess and avoid resonance during the machine's operation.

Keywords: Boundary Element Method (BEM); Finite Element Method (FEM); Analysis; Frequency; Amplitude; Natural Vibration; Forced Vibration; Spindle; CNC Milling Machine.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy phay CNC đóng vai trò quan trọng trong gia công cơ khí, cho phép sản xuất các chi tiết phức tạp với độ chính xác cao. Trục chính là bộ phận cốt lõi của máy phay CNC, có chức năng truyền chuyển động quay từ động cơ servo đến dụng cụ cắt. Do tính chất của quá trình gia công cắt gọt, có thể xảy ra dao động tự kích (chatter). Theo [1] dao động tự kích là do các dao động lặp lại và không đồng bộ giữa các lần tiếp xúc của dụng cụ với phôi, dẫn đến các rung động có biên độ lớn và không ổn định. Dao động tự kích có thể dẫn đến hiện tượng cộng hưởng khi tần số dao động của dao động tự kích tiệm cận hoặc trùng với tần số dao động riêng (là loại dao động của một hệ thống xảy ra khi hệ không bị tác động bởi bất kỳ lực bên ngoài nào).

Điều này làm cho biên độ dao động tăng đột ngột, gây ra các dao động mạnh hơn nữa, gây ra các tác hại [1]:

Độ nhám bề mặt tăng: Các dao động mạnh của dao động tự kích tạo ra bề mặt gia công nhấp nhô và không đạt độ nhẵn cần thiết, ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công Hình 1.



Hình 1. Độ nhám bề mặt khi xảy ra dao động tự kích

Giảm tuổi thọ của dụng cụ cắt: Dao động không ổn định khiến dụng cụ cắt chịu lực va đập liên tục, làm mòn hoặc gãy dụng cụ nhanh chóng, dẫn đến chi phí thay thế cao.

Người phân biện: 1. TS. Nguyễn Văn Hình

2. PGS. TS. Ngô Hữu Mạnh

Tiếng ồn lớn: Dao động tự kích tạo ra tiếng ồn có tần số cao, ảnh hưởng xấu đến môi trường làm việc và sức khỏe của người vận hành.

Hư hỏng máy móc: Dao động mạnh gây ra các lực không đều lên các bộ phận của máy, làm hỏng hóc và giảm độ bền của máy phay CNC.

Hiệu suất gia công giảm: Dao động tự kích buộc phải giảm tốc độ cắt hoặc thay đổi thông số để tránh hiện tượng này, làm chậm quá trình gia công và giảm năng suất sản xuất.

Dao động tự kích chủ yếu phụ thuộc vào tần số góc quay của trục chính, độ cứng vững của hệ thống công nghệ gồm máy, dụng cụ cắt, đồ gá và lực cắt. Đây là các yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến sự ổn định và khả năng xuất hiện dao động và hiện tượng cộng hưởng trong quá trình gia công. Thực tế với máy phay CNC độ cứng vững đã được nhà sản xuất đảm bảo, do đó trong phạm vi bài báo này không xét đến độ cứng vững của hệ thống công nghệ dẫn tới kết quả mô phỏng có giá trị gần đúng.

Các nghiên cứu về dao động của cụm trục chính máy CNC đã được tiến hành từ những năm 1970. Ban đầu, các phương pháp phân tích đơn giản dựa trên các mô hình tuyến tính được sử dụng để đánh giá dao động. Sự phát triển của phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) vào những năm 1980 đã mang lại một bước tiến lớn trong việc mô phỏng và phân tích dao động của các hệ thống cơ khí phức tạp [2]. FEM cho phép mô hình hóa chi tiết cấu trúc của cụm trục chính, tuy nhiên, phương pháp này thường đòi hỏi lượng tài nguyên tính toán lớn, đặc biệt là đối với các bài toán có hình dạng phức tạp, nhiều chi tiết [3].

Phương pháp phần tử biên (BEM) nổi lên như một giải pháp thay thế hiệu quả cho FEM trong việc giải quyết các bài toán dao động. BEM chỉ yêu cầu rời rạc hóa biên của miền tính toán, giúp giảm đáng kể số lượng nút và phần tử so với phương pháp FEM, từ đó giảm thời gian tính toán và tài nguyên máy tính [4].

Nổi bật trong các nghiên cứu liên quan [1] đã nghiên cứu về dao động tự kích trong quá trình phay, nghiên cứu nguyên nhân, phương pháp dự đoán, kỹ thuật phát hiện và phương pháp kiểm soát rung động của dao động tự kích trong quá trình phay, xác định vai trò của các đặc tính động như giảm chấn, độ lệch tâm của dụng cụ cắt với trục chính, đồng thời thảo luận về dự đoán độ ổn định dao động tự kích bằng cách sử dụng biểu đồ giới hạn ổn định động (SLD).

Các nghiên cứu trên đã đưa ra kết luận về những tiến bộ trong mô hình hóa máy tính, cảm biến và cơ cấu chấp hành đã cho phép dự đoán dao động tự kích chính xác hơn và các phương pháp phát hiện theo thời gian thực. Các phương pháp kiểm soát thụ động và chủ động cũng được đánh giá, bao gồm bộ giảm chấn thụ động và kiểm soát rung động chủ động thông qua cảm biến và cơ cấu chấp hành, làm nổi bật hiệu quả của

chúng trong việc cải thiện độ ổn định gia công và chất lượng bề mặt. Các đề xuất nghiên cứu trong tương lai bao gồm nâng cao độ chính xác phát hiện, khám phá các cơ chế phay vi mô và nâng cao hệ thống kiểm soát dao động tự kích để ứng dụng trong thực tiễn.

Mặc dù phương pháp phần tử biên (BEM) đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, việc áp dụng BEM vào phân tích dao động của cụm trục chính máy CNC vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này tập trung vào việc phát triển một mô hình BEM để phân tích tần số và biên độ dao động riêng, dao động cưỡng bức của trục chính máy phay CNC Xmill - M900 trong điều kiện làm việc với công suất và số vòng quay lớn nhất trong phạm vi sử dụng của máy cho phép.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ BIÊN

Phương pháp phần tử biên (BEM) là một phương pháp số hiệu quả để giải các bài toán với miền không gian vô hạn hoặc biên phức tạp. Nguyên lý cơ bản của BEM là chuyển đổi phương trình vi phân điều khiển bài toán thành phương trình tích phân trên biên. Điều này cho phép giảm số chiều của bài toán, từ đó giảm thiểu nỗ lực tính toán. Theo [5], phương trình cơ bản của BEM cho bài toán đàn hồi tuyến tính tĩnh có dạng:

$$c(x)u(x) + \int_{\Gamma} T(x,y)u(y)d\Gamma(y) = \int_{\Gamma} U(x,y)t(y)d\Gamma(y) \quad (1)$$

Trong đó:

$c(x)$: Hệ số tự do tại vị trí x ;

$u(x)$: Chuyển vị tại điểm x ;

$t(x)$: Lực bề mặt tại điểm x ;

$U(x,y), T(x,y)$: Ma trận ảnh hưởng của chuyển vị và lực;

Γ : Biên của miền khảo sát.

Theo [6], để giải bài toán giá trị biên cho (1) sử dụng phương pháp Ritz-Galerkin giải bài toán giá trị biên cho phương trình vi phân Elliptic tuyến tính dưới dạng:

$$L(u) = f \quad (2)$$

Trong đó:

L : Là toán tử vi phân tuyến tính;

U : Là nghiệm cần tìm;

f : Là hàm đã cho.

Xấp xỉ bằng phương pháp Ritz-Galerkin: Phương pháp này tìm kiếm nghiệm xấp xỉ u_N thuộc không gian con V_N của không gian Sobolev $H^1(\Omega)$ (thường là không gian Sobolev bậc 1) sao cho thỏa mãn [6]:

$$\int_{\Omega} L(u_N)v dx = \int_{\Omega} f v dx \quad \text{với mọi } v \in V_N \quad (3)$$

Trong không gian Sobolev, phương trình (3) tương đương với việc tìm u_N sao cho: $a(u, v) = L(v)$ với mọi $v \in V_N$ [6], trong đó:

$$a(u, v) = \int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla v dx + \int_{\Omega} u v dx \quad (4)$$

(4) có dạng song tuyến tính.

$$L(v) = \int_{\Omega} f v dx \quad (5)$$

(5) là hàm tuyến tính.

Điều kiện cần và đủ để một phương pháp xấp xỉ phần tử hữu hạn là một xấp xỉ bên ngoài [6], được định nghĩa như sau:

$$\langle \delta, \gamma U \rangle = 0 \quad (6)$$

Trong đó:

\langle, \rangle - Là cặp đối ngẫu trong không gian hàm được xác định trên biên giữa các phần tử;

δ - Là toán tử đạo hàm riêng;

γ - Là toán tử vết (trace operator), trích xuất giá trị của một hàm trên biên của miền;

U - Là ma trận xấp xỉ nghiệm được xác định bên trong phần tử;

Điều kiện trên có thể được mở rộng thành tích trong các không gian hàm khác:

$$(g, \gamma U) = 0 \quad (7)$$

Trong đó:

g - Là các hàm được xác định trên biên giữa các phần tử, còn gọi là các hàm biên;

(,) - Là tích trong không gian hàm thích hợp.

Các hàm biên này sinh ra các bậc tự do biên (boundary degrees of freedom - BDOF), được định nghĩa là tích phân của các hàm biên với các hàm cơ sở phần tử hữu hạn trên biên của phần tử [6]:

$$BDOF = \int_{\Gamma_k} \gamma U d\Gamma; k = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Trong đó:

Γ - Là biên của phần tử hữu hạn;

γ_k - Là các hàm được xác định trên biên của phần tử hữu hạn.

Các bậc tự do biên không có ý nghĩa vật lý trực tiếp, chúng đại diện cho các hàm xấp xỉ từ không gian phần tử hữu hạn tương thích khi số lượng BDOF tiến đến vô cùng. Các BDOF chịu trách nhiệm đảm bảo các điều kiện liên tục giữa các phần tử và các điều kiện biên cần thiết. Trong quá trình giải thích ứng, số lượng BDOF được tự động quản lý để đáp ứng các tiêu chí hội tụ.

Ngoài BDOF, còn có các bậc tự do nội bộ (internal DOF) được liên kết với thể tích của phần tử. Các bậc tự do nội bộ được xác định tự động khi xây dựng xấp xỉ nghiệm bên trong một phần tử hữu hạn.

Cuối cùng, hàm xấp xỉ U [6] trên phần tử có dạng:

$$U_h = \sum a_i(U) p_i + \sum (\int_{\Gamma} g_k \gamma U d\Gamma) p_k \quad (9)$$

Trong đó:

a_i - Là các bậc tự do nội bộ của phần tử;

p_i - Là các hàm cơ sở của các bậc tự do nội bộ;

$\int_{\Gamma} g_k \gamma U d\Gamma$ - Là các bậc tự do biên;

p_k - Là các hàm cơ sở của các bậc tự do biên.

Các hàm cơ sở p_i và p_k tạo thành một không gian hữu hạn chiều P của các hàm xấp xỉ của một phần tử hữu hạn. Để đảm bảo sự hội tụ, không gian P phải đầy đủ.

Sau khi xác định sự hội tụ của không gian P [6] tiến hành phân tích tần số dao động, xuất phát từ (10).

$$M T'' - [K].T = 0 \quad (10)$$

Trong đó:

M - Là khối lượng;

K - Là độ cứng của hệ;

T - Là chuyển vị.

Nghiệm của (10) có dạng (11):

$$\begin{aligned} (K - \omega^2.M)\Phi &= 0 \\ T &= \Phi \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (11)$$

Trong đó:

Φ - Là biên độ dao động;

ω - Là tần số góc;

t - Thời điểm tính toán.

Mối quan hệ giữa tần số góc và tần số dao động được trình bày theo (12).

$$f_0 = \omega/2\pi \quad (12)$$

Tính năng tách rời hình học: Đây là tính năng cốt lõi của phương pháp phần tử biên, các đối tượng trong bài toán phân tích được tách rời thành các khối hình học có sự tương tác với nhau theo những bài toán cụ thể, điều đó cho phép xử lý các cụm lắp ráp đa quy mô, mô phỏng các đặc tính trạng thái trong toàn bộ quá trình một cách dễ dàng bằng cách loại bỏ yêu cầu về chia lưới, lỗi chia lưới, sai số do mô hình hóa, mô phỏng cục bộ. Phương pháp phần tử biên còn nâng cao hiệu suất tính toán, phân tích, giảm chi phí cho cấu hình máy tính và tương tự như phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp phần tử biên có thể thực hiện được trên nhiều dạng bài toán khác nhau như các bài toán về phân tích kết cấu, động lực học, các bài toán về dòng chảy, phân tích tính ổn định, dao động.

3. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM SIMSOLD PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG CỦA TRỤC CHÍNH MÁY PHAY CNC XMILL - M900

3.1. Thông số cơ bản của máy phay CNC Xmill - M900 [7]

Kích thước bàn làm việc: 900×400 mm.

Hành trình trục X/Y/Z: 800/400/500 mm.

Tốc độ trục chính: n = 10.000 vòng/phút.

Công suất động cơ trục chính: P = 7,5 kW.

Tốc độ dịch chuyển nhanh: F = 36 m/phút.

Độ chính xác vị trí tâm trục chính: $\Delta = \pm 0,005$ mm.

Hình ảnh trục chính máy phay CNC Xmill-M900 được biểu diễn trên Hình 2.

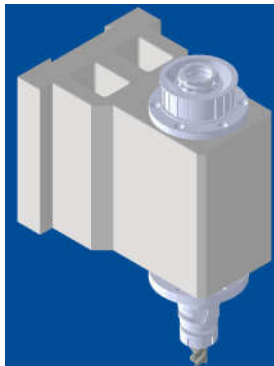


Hình 2. Hình ảnh thực chính máy phay CNC Xmill-M900

3.2. Lựa chọn các điều kiện biên

Theo [8], các bước tiến hành phân tích tần số dao động riêng được thực hiện với các điều kiện biên như sau:

Lựa chọn mô hình 3D để phân tích tần số dao động riêng: Có 7 thành phần (Modal) ảnh hưởng trực tiếp đến độ cứng vững và tần số dao động của trục chính là trục chính, bầu kẹp dụng cụ cắt, 3 ổ đỡ, khung đỡ, dao cắt. Các thành phần khác như động cơ, bộ truyền đai răng, hệ thống làm mát và hệ thống bôi trơn không đưa vào mô hình phân tích do ít ảnh hưởng độ cứng vững và tần số dao động của trục chính. Mô hình phân tích tần số dao động được trình bày trên Hình 3.



Hình 3. Mô hình 3D cụm trục chính máy phay CNC Xmill-M900 trong phân tích dao động

Lựa chọn các điều kiện biên về lực ngoại lực tác dụng lên trục chính:

Theo [7], máy phay CNC Xmill-M900 sử dụng bầu dao BT-40 do đó đường kính dao lớn nhất lắp được là $d = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m}$. Do lực tác dụng từ dụng cụ cắt lên phôi cân bằng với lực tác dụng từ phôi lên dụng cụ cắt do đó tính toán các lực tác dụng từ thông số cơ bản của máy.

Công suất cắt lớn nhất của máy:

$$P_c = P \times \eta \quad (12)$$

Trong đó:

η là hiệu suất của bộ truyền đai răng $\eta = 96\%$.

$$P_c = 7,5 \times 0,96 = 7,2 = 7.200 \text{ W} \quad (13)$$

Mô men xoắn trên trục chính:

$$T_c = 30.P/(\pi.n) \quad (14)$$

Thay số $P = 7.200 \text{ W}$, $n = 10.000$ vòng/phút vào (14) được $T_c = 6,879 \text{ N.m}$

Lực cắt chính trên dao cắt F_c .

$$F_c = 2.T_c/d = 2.6,879/0,018 = 764 \text{ N} \quad (15)$$

Theo [9], lực dọc trục tác dụng lên dao:

$$F_a = K_a \times F_c = (0,4 \div 0,6) F_c \quad (16)$$

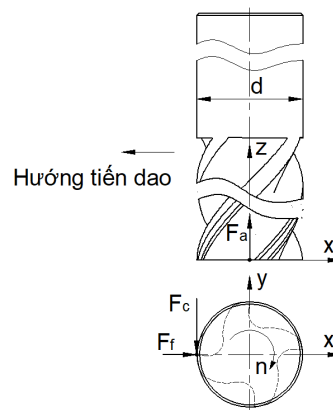
Chọn $F_a = 458 \text{ N}$

Lực tiến dao tác dụng lên dao:

$$F_f = K_f \times F_c = (0,2 \div 0,4) F_c \quad (17)$$

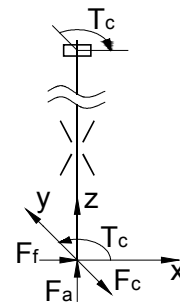
Chọn $F_f = 306 \text{ N}$

Phương và chiều của các lực tác dụng được trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Lực tác dụng từ phôi lên dụng cụ cắt

Sơ đồ đặt lực tác dụng lên trục chính:



Hình 5. Sơ đồ lực tác dụng lên trục chính

Gán vật liệu: Vật liệu cho các chi tiết trong mô hình, theo [9], vật liệu chế tạo trục chính là thép 4140 (theo tiêu chuẩn AISI) có các đặc tính được trình bày trên Hình 6.

Material	E	Nu	Density	Yield Stress	α	λ
4140 steel used for making spindles	2.000e5 MPa	0.290	8.000e-6 kg/mm3	6.150e2 MPa	1.730e-5 /K	1.620e-2 W/(mm*K)

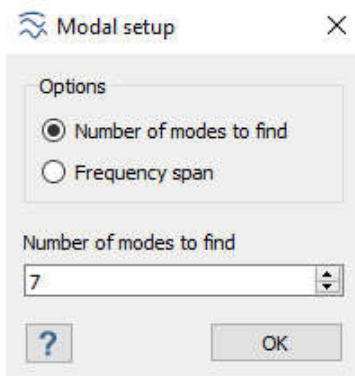
Hình 6. Thông số đặc trưng của mác thép 4140

3.3. Phân tích tần số giao động của trục chính máy phay CNC Xmill-M900 bằng phương pháp phân tử biên

3.3.1. Tần số dao động riêng

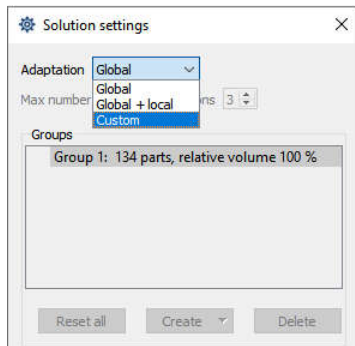
Theo [10], khi tính toán tần số dao động riêng các điều kiện biên sử dụng gồm: Mô hình 3D của cụm trục chính máy phay CNC Xmill-M900, vật liệu chế tạo, không sử dụng điều kiện biên về ngoại lực tác dụng. Trên phần mềm SimSolid thực hiện các bước như sau:

Thiết lập các thông số cho phân tích modal, khi đó phần mềm sẽ tìm kiếm 7 modal dao động của mô hình Hình 7.



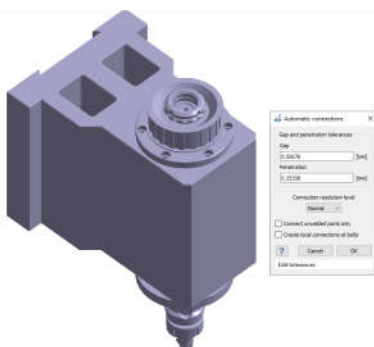
Hình 7. Thiết lập các thông số cho phân tích modal

Thiết lập chế độ phân tích cho toàn bộ mô hình gồm 7 modal được trình bày trên Hình 8.

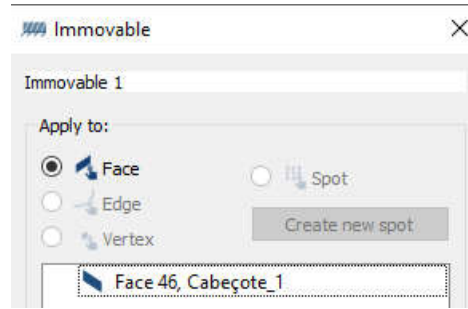


Hình 8. Thiết lập chế độ phân tích

Thiết lập liên kết tự động giữa các modal Hình 9 và tạo một bậc tự do cho mô hình Hình 10, bậc tự do của mô hình tương ứng với chuyển động quay tròn của trục chính.

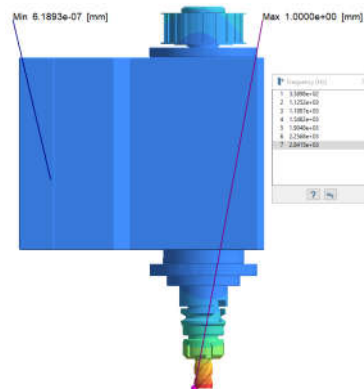


Hình 9. Lựa chọn tạo liên kết



Hình 10. Thiết lập bậc tự do cho mô hình

Sau khi thiết lập các điều kiện biên và chọn phương pháp tính toán tần số dao động riêng dựa trên chỉ tiêu độ cứng và ứng suất, quá trình mô phỏng được tiến hành và kết quả phân tích được thu thập. Tần số dao động riêng lớn nhất được xác định tự động ở modal số 7 (vị trí mặt đáy của dao), có giá trị là $f_{0max} = 2841,5$ Hz. Tần số dao động riêng nhỏ nhất được xác định tự động ở modal số 1 (vị trí khung đỡ), có giá trị là $f_{0min} = 358,98$ Hz Hình 11.



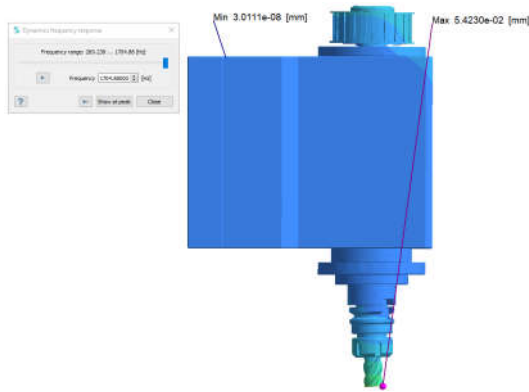
Hình 11. Kết quả phân tích tần số và biên độ của dao động riêng

Khi phân tích tần số dao động riêng trên phần mềm trên phần mềm SimSolid đồng thời cũng dự báo biên độ dao động cộng hưởng (Φ_{ch}), trên Hình 11 cho kết quả dự báo biên độ dao động cộng hưởng lớn nhất tại vị trí có tần số dao động riêng lớn nhất là $\Phi_{chmax} = 1,0$ mm, biên độ dao động cộng hưởng nhỏ nhất tại vị trí có tần số dao động riêng nhỏ nhất là $\Phi_{chmin} = 6,1893 \cdot 10^{-7}$ mm.

Theo [7] tần số dao động riêng cho phép của trục chính máy phay CNC hãng Fanuc cho phép là $[f] = 2.850$ Hz, vì $f_{0max} \leq [f]$ và có giá trị gần bằng giá trị của $[f]$, do đó máy phay CNC Xmill - M900 có độ cứng vững cao.

3.3.2. Tần số dao động cưỡng bức

Khi phân tích tần số dao động cưỡng bức, các bước thực hiện và các thiết lập chương trình phân tích tương tự như khi phân tích tần số dao động riêng. Tuy nhiên, điểm khác biệt là phân tích tần số dao động cưỡng bức sử dụng điều kiện biên có ngoại lực tác dụng với sơ đồ đặt lực được trình bày trên Hình 5. Kết quả phân tích tần số dao động cưỡng bức được thể hiện trên Hình 12.



Hình 12. Kết quả phân tích tần số và biên độ dao động cưỡng bức

Tần số dao động riêng lớn nhất được xác định tự động ở vị trí mặt đáy của dao có giá trị là $f_{\max} = 1704,88$ Hz. Tần số dao động riêng nhỏ nhất được xác định tự động ở vị trí khung đỡ có giá trị là $f_{\min} = 269,238$ Hz.

Biên độ của dao động cưỡng bức lớn nhất tại vị trí có tần số dao động cưỡng bức lớn nhất là $\Phi_{\max} = 5,432 \cdot 10^{-2}$ mm, biên độ dao động cưỡng bức nhỏ nhất tại vị trí có tần số dao động cưỡng bức nhỏ nhất là $\Phi_{\min} = 3,0111 \cdot 10^{-8}$ mm.

Theo [7] biên độ dao động riêng cho phép của phần đầu dụng cụ cắt lắp trên trục chính máy phay CNC hãng FANUC cho phép là $[\Phi] = 0,06$ mm, vì $\Phi_{\max} \leq [\Phi]$ do đó biên độ dao động của máy phay CNC Xmill - M900 ít gây ảnh hưởng tới sai số gia công.

Nhận xét chung: Trong quá trình gia công quan tâm tới dao động tại vị trí mặt đáy của dao lắp trên trục chính, đây là vị trí ảnh hưởng lớn nhất tới độ chính xác gia công, kết quả phân tích $f_{\max} \leq f_{0\max}$ đó đó, trên trục chính không xảy ra hiện tượng dao động tự kích trong quá trình gia công trên máy phay CNC Xmill - M900.

4. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã tổng hợp lý thuyết của phương pháp phần tử biên (BEM) - một phương pháp tính toán hiện đại và hiệu quả trong việc giải quyết các bài toán dao động của hệ thống cơ học phức tạp, đặc biệt là trong phân tích trục chính của máy phay CNC. Nghiên cứu đã áp dụng BEM trên phần mềm SimSolid để phân tích dao động của trục chính máy phay CNC Xmill - M900 và thu được những kết quả có ý nghĩa.

Kết quả phân tích cho thấy tần số dao động riêng của trục chính dao động từ 358,98 Hz đến 2841,5 Hz, với biên độ cộng hưởng lớn nhất đạt 1,0 mm tại vị trí đáy

dụng cụ cắt, cho thấy khả năng xảy ra cộng hưởng ở những chế độ làm việc nhất định. Trong khi đó, tần số dao động cưỡng bức dao động từ 269,238 Hz đến 1704,88 Hz, với biên độ dao động cưỡng bức lớn nhất là $5,432 \cdot 10^{-2}$ mm. Các thông số này giúp đánh giá nguy cơ cộng hưởng trong các điều kiện làm việc tối đa của máy, từ đó đề xuất những giới hạn vận hành an toàn để giảm thiểu ảnh hưởng của dao động đến độ chính xác và chất lượng gia công.

Kết quả nghiên cứu này là nền tảng cho các cải tiến tiếp theo trong quy trình gia công, hỗ trợ tối ưu hóa hiệu suất của máy CNC và tăng cường độ ổn định cũng như tuổi thọ của thiết bị. Các kết quả cũng mở ra hướng nghiên cứu mới về ứng dụng phương pháp BEM trong phân tích động lực học của các hệ thống máy công cụ phức tạp khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Caixu YUE, Haining GAO, Xianli LIU, Steven Y. LIANG, Lihui WANG (2013), *A Study on the Effect of Spindle Speed on Chatter Vibration in Milling Process*, Journal of Materials Processing Technology, 213(1), 88-98.
- [2]. Brebbia, C. A. (1978), *The boundary element method for engineers*, London: Pentech Press.
- [3]. Rizzo, F. J. (1967), *An integral equation approach to boundary value problems of classical elastostatics*, Quarterly of Applied Mathematics, 25(1), 83-95.
- [4]. Rao, S. S. (2010), *Mechanical vibrations*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- [5]. C.A. Brebbia (1978), *Boundary Element Method*, Springer Science + Business Media.
- [6]. C. S. Jog (2021), *Introduction to the Boundary Element Method*, Cambridge University Press.
- [7]. FANUC Series-oi MC OPERATION'S MANUAL, 2017.
- [8]. Victor Apanovitch (2020), *Using altair SimSolid™ technology overview*, Altair Engineering Publisher.
- [9]. ASTM A29/A29M-20: Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought.
- [10]. Daniel J. Inman (2014), *Engineering Vibration*, Pearson Education.

AUTHORS INFORMATION

Mac Van Giang*, Duong Thi Ha, Dao Van Kien, Mac Thi Nguyen, Trinh Van Cuong

*Corresponding Author: macvngiang@gmail.com

Sao Do University.

THẺ LỆ GỬI BÀI

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03-05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
 - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
 - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỳ yếu, số, trang.
 - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 1 (88) 2025



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, phường Thái Học, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 1 (88)
2025



Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.