



Tạp chí

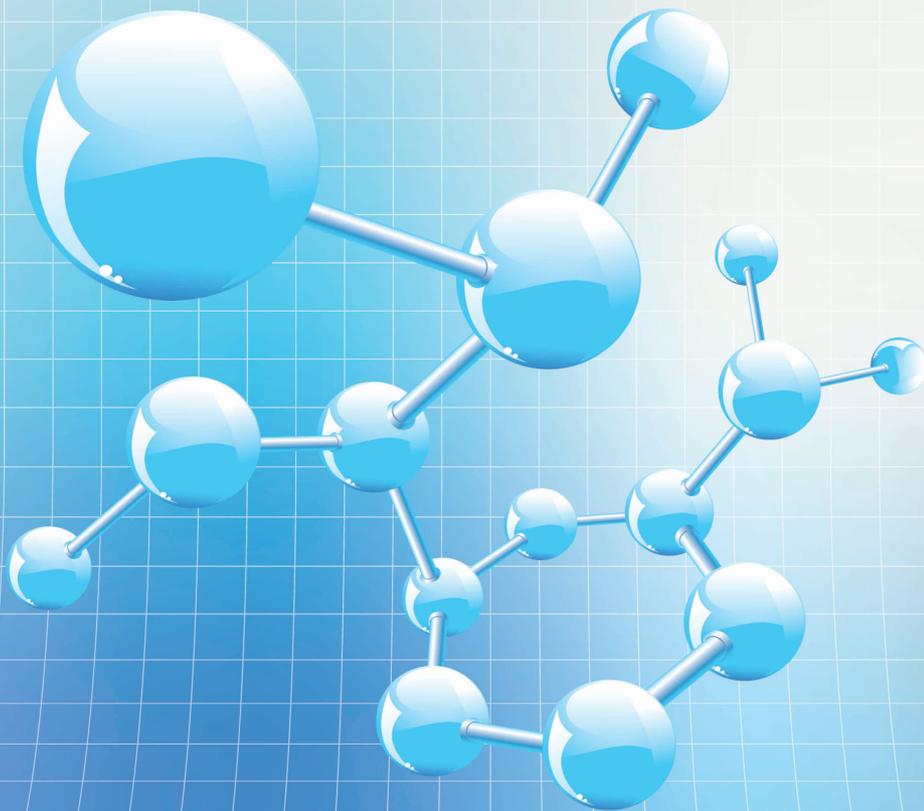
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190

E. ISSN 2815-553X



Số 4 (92)

2025

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

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đĩnh

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

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, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

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

- | | | |
|---|----|--|
| Thiết kế bộ điều khiển có tham số thay đổi | 5 | Nguyễn Thu Hà
Trần Tiến Đức
Nguyễn Đức Quang |
| Ứng dụng phương pháp MPC để bù trễ truyền thông | 11 | Nguyễn Trọng Các |
| Ảnh hưởng của điện mặt trời áp mái nhà tới điện áp lưới điện phân phối | 17 | Nguyễn Đình Thắng
Nguyễn Việt Đức
Nguyễn Đức Thuận
Nguyễn Thị Thu Hương
Phạm Văn Nam
Lê Viết Sơn
Nguyễn Văn Hùng
Nguyễn Đức Minh
Đỗ Văn Đình |
| Ứng dụng mạng neural tích chập kết hợp với bộ điều khiển khả trình PLC để hỗ trợ thực hiện tránh va tự động cho tàu thủy | 26 | Đinh Anh Tuấn
Đoàn Hữu Khánh
Mạc Trung Phúc
Nguyễn Phương Ty |
| Nghiên cứu ứng dụng thị giác máy trong tự động hóa hệ thống rót than cho toa xe tại Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) | 32 | Lê Văn Thông
Phương Mạnh Tuấn
Phạm Thị Thu Hương
Phạm Văn Nam
Đỗ Văn Đình |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- | | | |
|--|----|---|
| Mô phỏng ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn trong lắp ghép mặt bích ống chịu tải trọng phức hợp | 39 | Vũ Hoa Kỳ |
| Nghiên cứu ứng dụng ngôn ngữ lập trình Python tối ưu hóa chế độ cắt khi tiện CNC thép không gỉ AL-6XN | 45 | Mạc Thị Nguyên
Nguyễn Thị Thảo
Đào Văn Kiên |
| Phân tích đa vật lý về Điện - Nhiệt - Cơ của Vi kết nối | 52 | Mạc Văn Giang |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- Nghiên cứu tối ưu hóa tấm phẳng hợp kim nhôm 6061-T6 theo hai phương pháp hình dạng và cấu trúc 58 Nguyễn Văn Hình
- Mô phỏng và phân tích ứng suất, biến dạng trên dao phay carbide K10 khi phay mặt bên thép SKD61 theo hai sơ đồ tiếp xúc 65 Mạc Thị Nguyên
Mạc Văn Giang

NGÀNH KINH TẾ

- Giải pháp thúc đẩy phát triển sản phẩm dịch vụ trong thời kỳ chuyển đổi số ở Việt Nam hiện nay 72 Ngô Thị Luyện
- Chi phí logistics và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp Việt Nam 78 Nguyễn Minh Tuấn
- Tiến tới Net Zero -Thực trạng phát triển thị trường Các-bon tại Việt Nam 84 Lương Thị Hoa
Nguyễn Thị Thủy
- Truyền thông số trong Marketing du lịch địa phương: Trường hợp khu di tích Côn Sơn - Kiếp Bạc, Thành phố Hải Phòng 90 Vũ Thị Hường
- Chính sách thuế dưới giác độ cảm nhận của hộ kinh doanh 96 Phạm Thị Hồng Hoa

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

- Ứng dụng chuyển đổi số trong giảng dạy học phần tư tưởng Hồ Chí Minh ở Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 104 Nguyễn Thị Hải Hà
- Lý luận năng suất lao động của Mác-Lênin và quan điểm của Đảng Cộng sản Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số ngày nay 109 Vũ Văn Đông
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về xây dựng đội ngũ nhà giáo và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam trong thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa hiện nay 114 Đặng Thị Dung
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về nhà nước pháp quyền xã hội chủ nghĩa và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay 120 Vũ Văn Đông
Trần Thị Hồng Nhung
- Phát triển nguồn nhân lực trong kỷ nguyên số thông qua mô hình hợp tác đào tạo giữa nhà trường và doanh nghiệp - Hướng đi mới cho quản lý giáo dục và nâng cao chất lượng lao động 125 Đỗ Thị Thùy

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

- | | | |
|--|----|--|
| Design of a variable parameter controller | 5 | Nguyen Thu Ha
Tran Tien Duc
Nguyen Duc Quang |
| Application of Model predictive control for communication delay compensation | 11 | Nguyen Trong Cac |
| Effects of rooftop photovoltaic systems on distribution grid voltage | 17 | Nguyen Dinh Thang
Nguyen Viet Duc
Nguyen Duc Thuan
Nguyen Thi Thu Huong
Pham Van Nam
Le Viet Son
Nguyen Van Hung
Nguyen Duc Minh
Do Van Dinh |
| Application of convolutional neural network (CNN) combined with programmable logic controller (PLC) to support automatic collision avoidance for ships | 26 | Dinh Anh Tuan
Doan Huu Khanh
Mac Trung Phuc
Nguyen Phuong Ty |
| A Study on the application of Machine vision in automating coal loading Systems for Railcars at Vietnam National Coal and Mineral Industries Group (TKV) | 32 | Le Van Thong
Phuong Manh Tuan
Pham Thi Thu Huong
Pham Van Nam
Do Van Dinh |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- | | | |
|---|----|---|
| Stress, displacement, strain and safety factor simulation in flange pipe assembly under complex loading | 39 | Vu Hoa Ky |
| Python based optimization of cutting parameters in CNC turning of AL-6XN stainless steel | 45 | Mac Thi Nguyen
Nguyen Thi Thao
Dao Van Kien |
| Multiphysics Analysis of Electro - Thermo - Mechanical Interactions in Micro - Interconnects | 52 | Mac Van Giang |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- Research on optimizing 6061-T6 aluminum alloy flat plate using two methods shape and structure 58 Nguyen Van Hinh
- Simulation and analysis of stress and strain on carbide K10 end mills for SKD61 steel side milling under two contact schemes 65 Mac Thi Nguyen
Mac Van Giang

TITLE FOR ECONOMICS

- Solutions to promote service products development in the current digital transformation period in Vietnam 72 Ngo Thi Luyen
- Logistics costs and competitiveness of Vietnamese enterprises 78 Nguyen Minh Tuan
- Toward Net Zero - The current development of the Carbon market in Vietnam 84 Luong Thi Hoa
Nguyen Thi Thuy
- Digital communication in Local Tourism Marketing: The Case of the Con Son - Kiep Bac Historical Site, Hai Phong City 90 Vu Thi Huong
- Tax policy from the perspective of business households 96 Pham Thi Hong Hoa

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- The application of digital transformation in teaching the subject of Ho Chi Minh's thought at Sao Do University today 104 Nguyen Thi Hai Ha
- The theory of labor productivity of Marx-Lenin and the viewpoint of the Communist Party of Vietnam in the context of today's digital transformation 109 Vu Van Dong
- Ho Chi Minh's thoughts on building a team of teachers and its application by the Communist Party of Vietnam in the current period of industrialization and modernization 114 Dang Thi Dung
- Ho Chi Minh's thought on the socialist rule of law state and its application by the Communist Party of Vietnam today 120 Vu Van Dong
Tran Thi Hong Nhung
- Developing human resources in the digital era through a training cooperation model between schools and businesses - A new direction for educational management and improving labor quality 125 Do Thi Thuy

Mô phỏng ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn trong lắp ghép mặt bích ống chịu tải trọng phức hợp

Stress, displacement, strain and safety factor simulation in flange pipe assembly under complex loading

Vũ Hoa Kỳ

Trường Đại học Sao Đỏ

Tác giả liên hệ: kyhoavu@gmail.com

Ngày nhận bài: 07/8/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/11/2025

Ngày chấp nhận đăng: 26/11/2025

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp phân tích phần tử biên trên phần mềm SimSolid để mô phỏng ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn của mối ghép mặt bích JIS B 2220 - 5K, DN200 dưới tải trọng phức hợp gồm áp suất 3 bar, lực dọc trục 300 kN, mô men uốn 20 kN×m và dự ứng lực bu lông 82,2 kN. Kết quả cho thấy ứng suất lớn nhất xuất hiện tại vùng chuyển tiếp giữa thành ống và vai bích phía chịu mô men uốn (chịu kéo), đạt 215,36 MPa và đảm bảo độ bền, đồng thời các bu lông ở phía này chịu tải lớn hơn 15%÷18% so với phía đối diện. Chuyển vị lớn nhất là 0,519 mm, nằm trong giới hạn theo TCVN 5575:2012. Biến dạng ghi nhận lớn nhất tại chi tiết gioăng với chênh lệch biến dạng giữa hai vùng chịu kéo và nén là $6,006 \times 10^{-3}$, ảnh hưởng đến độ kín khít của mối ghép. Hệ số an toàn toàn bộ kết cấu dao động từ 1,25 đến 3,0, đảm bảo khả năng chịu tải trọng phức hợp.

Từ khóa: Mặt bích; bu lông; ứng suất; chuyển vị; biến dạng; hệ số an toàn; phần mềm SimSolid.

Abstract

The paper presents a boundary element analysis method using SimSolid software to simulate stress, displacement, strain, and safety factor of the flange joint JIS B 2220 - 5K, DN200 under complex loading conditions including an internal pressure of 3 bar, an axial force of 300 kN, a bending moment of 20 kN×m and a bolt preload of 82.2 kN. The results show that the maximum stress occurs at the transition region between the pipe wall and the flange neck on the side subjected to bending moment (tension), reaching 215.36 MPa, which ensures structural integrity. Meanwhile, bolts on this side bear loads 15%÷18% higher than those on the opposite side. The maximum displacement is 0.519 mm, within the allowable limits according to TCVN 5575:2012. The largest strain is observed in the gasket detail, with a strain difference of 6.006×10^{-3} between the tension and compression zones, affecting the sealing performance of the joint. The safety factor of the entire structure ranges from 1.25 to 3.0, ensuring its capacity to withstand the complex loading conditions.

Keywords: Flange; bolt; stress; displacement; strain; safety factor; simSolid software.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các hệ thống đường ống công nghiệp, liên kết bu lông - mặt bích đóng vai trò quyết định đến độ kín khít, an toàn và độ tin cậy trong vận hành. Khi chịu đồng thời áp suất bên trong, lực dọc trục và mô men uốn, liên kết này phát sinh trạng thái ứng suất - biến dạng phức tạp, có thể dẫn đến nứt gãy hoặc rò rỉ nếu không được tính toán hợp lý. Vì vậy, việc phân tích đặc trưng cơ học của mối ghép là cần thiết nhằm tối ưu hóa thiết kế và kéo dài tuổi thọ công trình.

Nhiều công trình trước đã ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để nghiên cứu vấn đề này. Chẳng hạn, Sawa et al. [1] đã phân tích ứng suất trong mối ghép chịu áp suất trong ống và đề xuất lực siết bu lông hợp lý để hạn chế rò rỉ; Noda et al. [2] mở rộng sang phân tích ứng suất tiếp xúc và độ bền, đồng thời so sánh FEM với thực nghiệm để chứng minh tính tin cậy; Goodier và Sweeney [3] xây dựng mô hình lý thuyết phân bố ứng suất trong mối ghép bu lông, làm nền tảng cho các nghiên cứu FEM sau này; Kim et al. [4] chỉ ra sự phân bố không đồng đều ứng suất giữa các bu lông dưới tải kéo dọc trục; và Li et al. [5] chứng minh sự mất cân bằng tải trọng bu lông là nguyên nhân quan trọng dẫn đến rò rỉ. Nhìn chung, các nghiên cứu trên đã làm sáng tỏ nhiều khía cạnh cơ học của mối

Người phản biện: 1. TS. Nguyễn Đức Hải
2. PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

ghép, nhưng chủ yếu vẫn tập trung vào từng dạng tải trọng riêng lẻ trong điều kiện lý tưởng. Trong khi đó, thực tế vận hành đường ống công nghiệp thường diễn ra dưới tác động kết hợp của nhiều dạng tải trọng, đây chính là khoảng trống nghiên cứu mà bài báo này hướng tới.

Điểm mới của nghiên cứu này là xây dựng mô hình phân tích bằng phương pháp phần tử biên (Boundary Element Method - BEM) sử dụng phần mềm SimSolid để mô phỏng chi tiết sự phân bố ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn. Phương pháp này khắc phục hạn chế về việc chia lưới (mesh) vốn tồn tại trong phương pháp phần tử hữu hạn, giúp giảm thời gian tính toán và chi phí tài nguyên máy tính, đặc biệt thích hợp cho các cấu trúc phức tạp, có nhiều liên kết như mối ghép bu lông mặt bích.

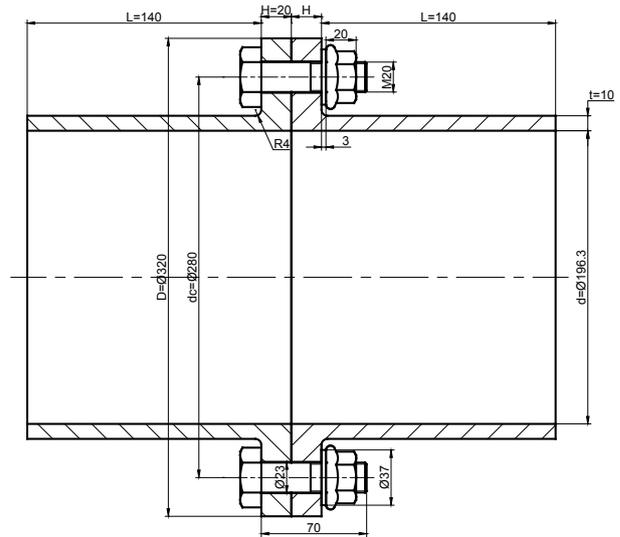
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình và cơ sở toán học

2.2.1. Mô hình và vật liệu

Trong nghiên cứu này, công cụ chính được sử dụng là phần mềm SimSolid với mô đun cơ học kết cấu, cho phép mô phỏng chính xác trạng thái ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn của các chi tiết cơ khí có tiếp xúc và biến dạng phức tạp. Mô hình theo phương pháp phần tử biên được xây dựng cho mối ghép bu lông - mặt bích, bao gồm các thành phần: Bu lông, mặt bích và gioăng làm kín. Mô hình được thiết lập với các đặc điểm như tiếp xúc phi tuyến tại bề mặt bu lông - mặt bích - gioăng; điều kiện lắp ráp thông qua lực siết bu lông ban đầu và các lực tác dụng gồm lực dọc trục, mô men uốn, áp suất bên trong ống cùng lực siết bu lông ban đầu của đai ốc. Hệ thống phương trình cân bằng được giải bằng bộ giải phi tuyến không dùng chia lưới cấu trúc của SimSolid, giúp tăng tốc độ tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác cao.

Đối tượng khảo sát trong nghiên cứu là lắp ghép gồm hai mặt bích tiêu chuẩn JIS B 2220 - 5K, kích thước danh nghĩa DN200, chế tạo từ thép cacbon thấp AISI 1020 trạng thái ủ, lắp bằng 8 bu lông M20 chế tạo từ thép hợp kim cường độ cao AISI 4340 đã tôi trong dầu, cùng gioăng làm kín Polypropylene [6]. Kết cấu và kích thước, đặc tính của các vật liệu được trình bày trong Hình 1 đến Hình 4.



Hình 1. Kết cấu lắp ghép mặt bích tiêu chuẩn JIS B 2220 - 5K, DN200

Mechanical properties		
Elasticity modulus	2.0500000000e+11	[pa]
Poisson's ratio	2.9000000000e-01	[dimensionless]
Density	7.8500000000e+03	[kg/m^3]
Ultimate tensile stress	1.2100000000e+09	[pa]
Tensile yield stress	1.1500000000e+09	[pa]
Compressive yield stress	1.1500000000e+09	[pa]
Default failure criterion	Von Mises Stress	
Thermal properties		
Thermal expansion coefficient	1.2300000000e-05	[1/(degree C)]
Thermal conductivity	4.4500000000e+01	[W/(m*K)]
Specific heat capacity	0.0000000000e+00	[J/(kg*K)]

Hình 2. Đặc tính của vật liệu AISI 1020

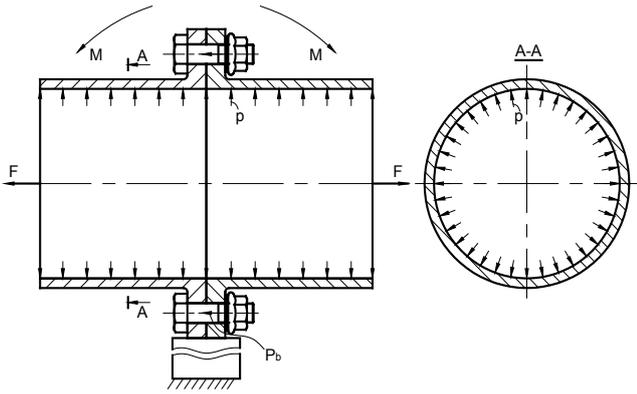
Mechanical properties		
Elasticity modulus	2.0000000000e+11	[pa]
Poisson's ratio	2.9000000000e-01	[dimensionless]
Density	7.8700000000e+03	[kg/m^3]
Ultimate tensile stress	3.9500000000e+08	[pa]
Tensile yield stress	2.9500000000e+08	[pa]
Compressive yield stress	2.9500000000e+08	[pa]
Default failure criterion	Von Mises Stress	
Thermal properties		
Thermal expansion coefficient	1.1700000000e-05	[1/(degree C)]
Thermal conductivity	5.1900000000e+01	[W/(m*K)]
Specific heat capacity	0.0000000000e+00	[J/(kg*K)]

Hình 3. Đặc tính của vật liệu AISI 4340

Mechanical properties		
Elasticity modulus	1.3400000000e+09	[pa]
Poisson's ratio	3.9200000000e-01	[dimensionless]
Density	8.9900000000e+02	[kg/m^3]
Ultimate tensile stress	3.6500000000e+07	[pa]
Tensile yield stress	3.0300000000e+07	[pa]
Compressive yield stress	3.0300000000e+07	[pa]
Default failure criterion	Von Mises Stress	
Thermal properties		
Thermal expansion coefficient	9.0500000000e-05	[1/(degree C)]
Thermal conductivity	1.9800000000e-01	[W/(m*K)]
Specific heat capacity	0.0000000000e+00	[J/(kg*K)]

Hình 4. Đặc tính của vật liệu Polypropylene

Để hiểu rõ hơn về tải trọng tác dụng lên toàn bộ hệ thống, sơ đồ đặt lực của các tác động được xây dựng và thể hiện trên Hình 5 và Bảng 1 như sau:



Hình 5. Sơ đồ đặt lực và liên kết tác dụng lên kết cấu

Bảng 1. Các thông số lực tác dụng lên kết cấu

TT	Tên gọi	Ký hiệu	Giá trị
1	Lực dọc trục	F	300000 N
2	Mô men uốn	M	20 kNm
3	Áp suất bên trong	p	3 bar
4	Lực siết bu lông ban đầu	P _b	82200 N

2.2.2. Cơ sở toán học trong phân tích

Cơ sở toán học của phân tích mỗi ghép bu lông - mặt bích trong nghiên cứu này dựa trên lý thuyết cơ học đàn hồi tuyến tính và phương pháp phần tử biên (Boundary Element Method - BEM), được triển khai trong phần mềm SimSolid. Khác với phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) cần rời rạc hóa toàn bộ thể tích miền, phương pháp BEM mô hình hóa trực tiếp trên bề mặt biên, giảm số bậc tự do và tài nguyên tính toán, đồng thời giữ được độ chính xác cao trong các bài toán có nhiều chi tiết tiếp xúc và tải trọng phức tạp [7]:

a. Phương trình cơ bản của cơ học đàn hồi

Trạng thái cơ học của vật rắn biến dạng được mô tả bởi ba nhóm phương trình:

Phương trình cân bằng (cân bằng lực trong miền).

$$\sigma_{ij,j} + f_i = 0 \text{ trong miền } V \quad (1)$$

Trong đó:

σ_{ij} : Tensor ứng suất Cauchy;

f_i : Lực thể tích.

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2)$$

Trong đó:

ε_{ij} : Tensor biến dạng;

u_i : Trường chuyển vị.

Quan hệ vật liệu (định luật Hooke cho đàn hồi tuyến tính đẳng hướng):

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (3)$$

Trong đó:

σ_{ij} : Tensor ứng suất Cauchy, chỉ số i biểu thị hướng lực tác dụng, chỉ số j là hướng mặt cắt chịu lực.

ε_{kl} : Tensor biến dạng, chỉ số k chỉ hướng dịch chuyển và chỉ số l chỉ hướng gradient biến dạng.

Tensor độ cứng C_{ijkl} được xác định thông qua mô đun đàn hồi E và hệ số Poisson ν theo công thức (4):

$$C_{ijkl} = \frac{E}{2(1+\nu)} (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk} + \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \delta_{ij} \delta_{kl}) \quad (4)$$

Trong đó:

δ_{ij} : Delta Kronecker.

Công thức này thể hiện rõ mối liên hệ giữa E và ν trong mô hình đàn hồi đẳng hướng. Các phương trình trên tạo thành bài toán biên trong cơ học đàn hồi, bao gồm tìm trường chuyển vị và ứng suất thỏa mãn điều kiện biên xác định.

b. Chuyển đổi sang công thức tích phân biên (Boundary Integral Equation – BIE)

Phương pháp BEM chuyển bài toán vi phân đàn hồi thành dạng tích phân trên bề mặt biên (5):

$$c(x)u_i(x) + \int_{\Gamma} U_{ij}(x,y)t_j(y) d\Gamma(y) = \int_{\Gamma} T_{ij}(x,y)u_j(y) d\Gamma(y) \quad (5)$$

Trong đó:

Γ : Bề mặt biên của miền khảo sát.

u_i : Chuyển vị tại bề mặt biên.

$t_j = \sigma_{ij}n_j$: Lực bề mặt, với n là vectơ pháp tuyến.

U_{ij}, T_{ij} : Các hàm ảnh hưởng cơ bản (fundamental solutions).

$C(x)$: Hệ số phụ thuộc vị trí điểm trên biên. Công thức (5) cho thấy trạng thái vật thể toàn miền được xác định bằng các đại lượng trên bề mặt biên, làm cơ sở để SimSolid xử lý mà không cần chia lưới thể tích.

c. Điều kiện biên và tiếp xúc phi tuyến

Bài toán phân tích mỗi ghép bu lông - mặt bích được mô tả với các điều kiện biên:

Áp suất bên trong ống: $p = 3 \text{ bar}$.

Lực dọc trục: $F = 300 \text{ kN}$.

Mô men uốn: $M = 200 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Lực siết ban đầu của bu lông: $P_b = 82,2 \text{ kN}$.

Tiếp xúc bu lông - mặt bích - gioăng được mô hình hóa theo ma sát Coulomb với bất đẳng thức (6):

$$P_n \geq 0, g_n \leq 0, P_n g_n = 0$$

Trong đó:

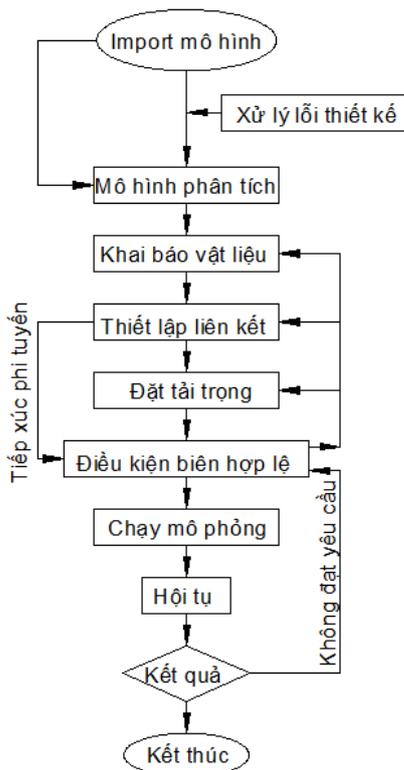
P_n : Áp lực pháp tuyến;

g_n : Khe hở tiếp xúc.

Quan hệ này thể hiện điều kiện không xuyên thủng và tính phi tuyến của tiếp xúc cơ học.

d. Thuật toán giải số

Lưu đồ thuật toán các bước thực hiện mô phỏng và giải thuật được trình bày trên Hình 6:



Hình 6. Lưu đồ thuật toán các bước thực hiện trên phần mềm SimSolid

Trong SimSolid, hệ phương trình tích phân biên được rời rạc hóa trên các mặt biên và giải bằng thuật toán lặp phi tuyến:

Chiến lược tăng tải từng bước (load stepping) để áp dụng dần tải trọng phức hợp.

Phương pháp lặp Newton-Raphson để xử lý phi tuyến của điều kiện tiếp xúc.

Thuật toán hội tụ tự động đảm bảo nghiệm phản ánh chính xác cơ chế truyền tải lực giữa bu lông, mặt bích và gioăng.

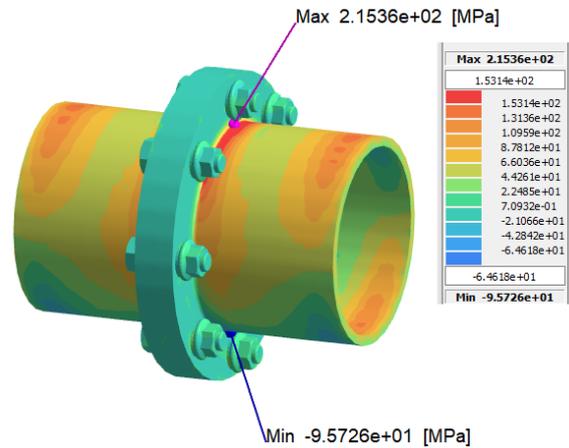
3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

3.1. Ứng suất

Kết quả phân tích ứng suất trên Hình 7 cho thấy ứng suất không phân bố đều trên toàn bộ kết cấu mà tập trung tại những vị trí đặc trưng như sau:

(6) Ứng suất kéo (+): Xuất hiện chủ yếu tại vùng chuyển tiếp giữa thành ống và vai bích, nơi có sự thay đổi tiết diện đột ngột, dẫn đến hiệu ứng tập trung ứng suất. Giá trị ứng suất kéo cực đại đạt 215,36 MPa, thấp hơn giới hạn chảy của vật liệu thép ANSI 1020 (245 MPa), ở vị trí này phù hợp với việc bố trí gân tăng bền, cứng khi cần nâng cao tải trọng trong thực tế.

Ứng suất nén (-): Phân bố tại mặt dưới của cụm bu lông và vùng tiếp xúc giữa bích và thân ống. Giá trị cực đại 95,726 MPa, phản ánh lực ép chặt từ bu-lông phân bố xuống bề mặt bích, là trạng thái làm việc bình thường do lực siết bu lông tạo ra.

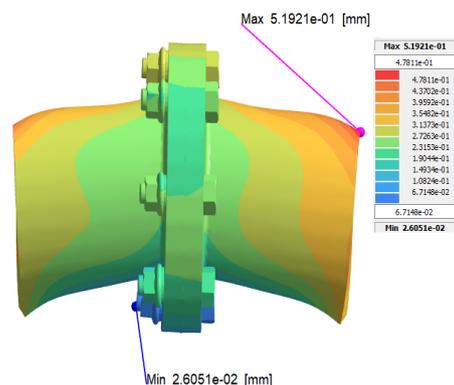


Hình 7. Trường ứng suất

Nhận xét:

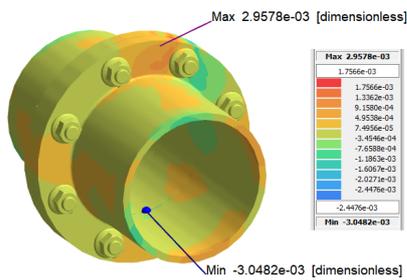
Sự phân bố ứng suất như trên phù hợp với cơ chế chịu tải của liên kết bích: Lực siết bu lông tạo ứng suất nén tại vùng tiếp xúc, trong khi áp lực bên trong đường ống và biến dạng kết cấu sinh ra ứng suất kéo tại vùng chuyển tiếp tiết diện. Việc giá trị ứng suất lớn nhất vẫn thấp hơn giới hạn chảy vật liệu cho thấy liên kết bích đảm bảo an toàn trong điều kiện thiết kế, đồng thời còn giữ được dự trữ chịu lực nhất định cho việc vận hành lâu dài, minh họa trường ứng suất tổng thể phân bố trên kết cấu bích ống, thể hiện rõ các vùng tập trung ứng suất kéo và nén đặc trưng. Để phân tích chi tiết hơn sự thay đổi ứng suất tại các vị trí quan trọng quanh chu vi bích.

3.2. Chuyển vị, biến dạng



Hình 8. Trường chuyển vị

Kết quả mô phỏng chuyển vị trên Hình 8 cho thấy giá trị chuyển vị lớn nhất là 0,519 mm và nhỏ nhất là 0,026 mm, tập trung chủ yếu tại vị trí đầu tự do trên mô hình phân tích. Mức chuyển vị này khá nhỏ so với kích thước hình học của chi tiết và nằm trong giới hạn cho phép ($L/250 = 0,64$ mm), phù hợp với quy định trong TCVN 5575-2012[8]. Trên Hình 9 biểu diễn rõ sự phân bố biến dạng, với biến dạng lớn nhất tập trung trên gioăng: Phần phía trên của gioăng, tương ứng vùng vật liệu chịu kéo, có giá trị biến dạng lớn nhất là $2,9578 \times 10^{-3}$, trong khi phần phía dưới, tương ứng vùng vật liệu chịu nén, biến dạng lớn nhất đạt $3,0482 \times 10^{-3}$, sự chênh lệch biến dạng giữa hai vùng trên gioăng là $6,006 \times 10^{-3}$, đã làm giảm độ kín khít của đường ống.

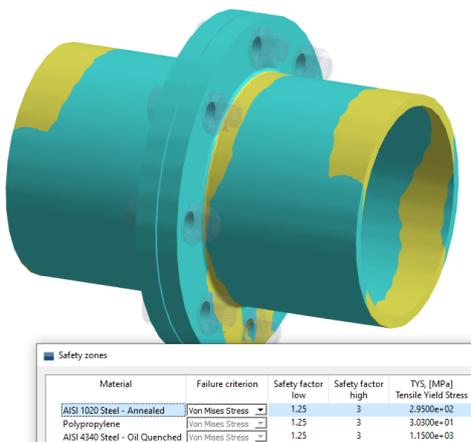


Hình 9. Trường biến dạng

Từ các kết quả phân tích ứng suất, chuyển vị và biến dạng, có thể đánh giá được mức độ làm việc thực tế của kết cấu, từ đó xác định hệ số an toàn nhằm đảm bảo cấu kiện vận hành ổn định và an toàn dưới các điều kiện tải trọng thiết kế cũng như các tác động ngoài dự kiến.

3.3. Hệ số an toàn

Kết quả phân tích hệ số an toàn trên hình 10 cho thấy vật liệu sử dụng cho kết cấu bích ống là thép AISI 1020 (trạng thái ủ), với giới hạn chảy (TYS) đạt 295 MPa. Trong mô hình phân tích, hệ số an toàn thấp nhất áp dụng theo tiêu chuẩn là 1,25, đảm bảo khoảng cách giữa ứng suất làm việc và giới hạn chảy của vật liệu.



Hình 10. Phân tích hệ số an toàn

Việc phân tích hệ số an toàn được thực hiện dựa trên tiêu chí ứng suất Von Mises, nhằm đánh giá ngưỡng

ổn định làm việc và loại trừ nguy cơ phá hủy dẻo khi chịu tải trọng thực tế. Các vùng màu vàng trong hình 10 biểu diễn khu vực giới hạn an toàn theo tiêu chuẩn đặt ra, đảm bảo kết cấu chỉ chịu ứng suất lớn nhất thấp hơn đáng kể so với ngưỡng phá hủy vật liệu. Việc duy trì hệ số an toàn $\geq 1,25$ đến 3 cho vật liệu thép AISI 1.020 và các vật liệu lắp ghép đảm bảo khả năng làm việc ổn định, chống lại các tác động tải ngoài, rung động cơ học cũng như dự trữ cho sai số lắp đặt và điều kiện vận hành khác nghiệt. Ở vùng liên kết gần bu lông và mép nối, cần chú ý kiểm tra nguy cơ mỏi và biến dạng cục bộ nhằm bảo toàn chức năng kết cấu lâu dài, đặc biệt với chu kỳ tải lặp lại trong môi trường vận hành thực tế.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng và phân tích chi tiết trạng thái cơ học của mỗi ghép mặt bích tiêu chuẩn JIS B 2220 - 5K, DN200 bằng phương pháp phần tử biên sử dụng phần mềm SimSolid, dưới tác động của các tải trọng phức hợp gồm áp suất, lực dọc trục, mô men uốn và lực siết bu lông. Kết quả cho thấy ứng suất lớn nhất tập trung tại vùng chuyển tiếp giữa thành ống và vai bích với giá trị 215,36 MPa, thấp hơn giới hạn chảy của thép AISI 1020, đảm bảo an toàn kết cấu. Phân bố lực trên các bu lông không đồng đều, với các bu lông phía chịu kéo phải chịu tải trọng lớn hơn 15-18% so với các bu lông bên kia, phản ánh sự mất cân bằng lực do mô men uốn.

Chuyển vị cực đại ghi nhận đạt giá trị 0,519 mm, nhỏ hơn giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Biến dạng lớn nhất tập trung tại gioăng làm kín với sự chênh lệch biến dạng kéo và nén là $6,006 \times 10^{-3}$, có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả độ kín khít của mối ghép. Hệ số an toàn toàn kết cấu dao động từ 1,25 đến 3,0, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu thiết kế và tiêu chuẩn kỹ thuật, giúp đảm bảo khả năng làm việc ổn định của liên kết bu lông - mặt bích dưới các điều kiện tải trọng thực tế.

Kết quả nghiên cứu cung cấp một cơ sở khoa học quan trọng cho việc hiểu rõ cơ chế chịu lực của mỗi ghép mặt bích trong điều kiện tải trọng phức hợp, đồng thời hỗ trợ việc lựa chọn vật liệu phù hợp và tối ưu hóa lực siết bu lông nhằm nâng cao độ bền, hiệu quả làm kín và tuổi thọ của hệ thống đường ống công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sawa, T., Akagawa, T., & Kobayashi, T. (1992), *Stress analysis of bolted flange connections under internal pressure*, ASME Journal of Pressure Vessel Technology, 114(2), pp. 187–193.

- [2]. Noda, N. A., Sawa, T., & Takaki, R. (2003), *Contact stress analysis and strength evaluation of bolted flanged connections subjected to internal pressure*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 80(6), pp. 417–426.
- [3]. Goodier, J. N. & Sweeney, R. J. (1965), *Bolted joint under axial tension - theoretical stress distribution in flange and bolt*, Transactions of the ASME, Series B, Journal of Engineering for Industry, 87(2), pp. 163–170.
- [4]. Kim, Y. H., Lee, J. S., & Park, J. H. (2011), *Finite element analysis of bolted flange connections under axial tensile load*, Journal of Mechanical Science and Technology, 25(10), pp. 2601-2608.
- [5]. Li, H., Wang, Y., & Xu, Z. (2015), *Numerical investigation of bolt load distribution in pipeline flange connections subjected to axial load*, Engineering Failure Analysis, 47, pp. 35-47.
- [6]. Japanese Standards Association, JIS B 2220: Steel Pipe Flanges. Tokyo: JSA, 2004.
- [7]. Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and applications of finite element analysis* (4th ed.). Wiley.
- [8]. <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/251362-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-5575-2012-ve-ket-cau-thep-tieu-chuan-thiet-ke-nam-2012>.

AUTHOR INFORMATION

Vu Hoa Ky

Corresponding author: kyhoavu@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/Kỷ 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, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

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 4 (92) 2025



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, quốc lộ 37, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **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 4 (92)

2025

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ

Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.

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.