

THỂ LỆ VỀ CÔNG BỐ CÔNG TRÌNH KHOA HỌC VÀ ĐĂNG BÀI BÁO KHOA HỌC TRÊN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

1. Khái quát về Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

Tạp chí Cơ khí Việt Nam là cơ quan báo chí thực hiện ngôn luận - lý luận của Tổng hội Cơ khí Việt Nam, đồng thời là tiếng nói, kênh thông tin chính thống của ngành Cơ khí Việt Nam. Tạp chí cũng còn là diễn đàn nghiên cứu khoa học của các nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trên cả nước, do đó đã được *Bộ Khoa học và Công nghệ cấp ISSN 2615 - 9910 (mã số chuẩn quốc tế đối với xuất bản phẩm nhiều kỳ) và Hội đồng Chức danh Giáo sư Nhà nước công nhận tính điểm công trình khoa học-bài báo khoa học.*

Tạp chí Cơ khí Việt Nam có nhiệm vụ tuyên truyền, phổ biến chủ trương chính sách của Đảng, pháp luật của Nhà nước và định hướng phát triển, hoạt động của ngành Cơ khí Việt Nam; công bố công trình khoa học, kết quả nghiên cứu và chuyển giao công nghệ, chuyên đề khoa học và công nghệ có hàm lượng khoa học và giá trị thực tiễn cao của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí. Ngoài ra, Tạp chí cũng còn là nơi công bố những phát minh, sáng chế, kết quả, thành tích, điển hình tiên tiến trong hoạt động nghiên cứu khoa học, quản lý, đào tạo và sản xuất, kinh doanh lĩnh vực Cơ khí ở trong và ngoài nước tới đông đảo bạn đọc.

2. Việc công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

Tạp chí Cơ khí Việt Nam nhận công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí của nhà quản lý-khoa học-chuyên gia-nghiên cứu sinh, học viên cao học, ... trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam (bản in giấy), gồm: ¹Cơ khí Chế tạo máy, ²Cơ khí Quốc phòng, ³Cơ khí Giao thông, ⁴Cơ khí Nông-lâm nghiệp, ⁵Cơ khí Xây dựng, ⁶Cơ khí Thủy sản, ⁷Cơ khí Địa chất, ⁸Cơ khí Hóa chất, ⁹Cơ khí Bảo quản chế biến nông lâm thủy sản, ¹⁰Cơ khí Động cơ đốt trong, ¹¹Cơ khí Ô tô - Máy kéo, ¹²Cơ khí Máy thủy khí, ¹³Cơ khí Công nghệ nhiệt lạnh, ¹⁴Cơ khí máy năng lượng, ¹⁵Cơ khí Công nghệ dệt, ¹⁶Cơ khí Công nghệ cắt may, ¹⁷Cơ khí Cơ-điện tử, ¹⁸Cơ khí Kỹ thuật hệ thống công nghiệp, ¹⁹Cơ khí đào tạo nguồn nhân lực và nghiên cứu chuyển giao.

3. Thể lệ về công bố công trình khoa học/ đăng bài báo khoa học trong ngành Cơ khí và liên quan đến lĩnh vực Cơ khí trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam. Do đó, công trình khoa học/ bài báo khoa học khi được đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam phải đảm bảo các yêu cầu, như sau:

3.1. Yêu cầu chung: Công trình khoa học/ bài báo khoa học đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam phải là kết quả nghiên cứu gốc; bài báo tổng quan hoặc bài viết thông tin khoa học (*short communications*).

3.2. Bản thảo: Bài báo đăng trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam, gồm có các phần:

1. Tên bài báo (bằng tiếng Việt và bằng tiếng Anh).

2. Tên tác giả, đồng tác giả (kèm theo ghi chú về chức danh khoa học, học hàm, học vị, tên cơ quan công tác, email).

3. Tóm tắt bài báo bằng tiếng Việt và tiếng Anh không quá 350 từ (bao gồm có từ khóa tiếng Việt và tiếng Anh, đối với cụm từ khóa có khoảng 5 - 15 từ khóa).

4. Đặt vấn đề.

5. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.

6. Kết quả và thảo luận (có thể tách thành 2 phần riêng biệt: Kết quả, Thảo luận).

7. Kết luận.

8. Tài liệu tham khảo (trích dẫn theo đúng quy định bài báo quốc tế).

Bản thảo được soạn trên máy vi tính, sử dụng Unicode, kiểu chữ Time New Roman, cỡ chữ 14, trên giấy A4 - một mặt, chế độ dẫn dòng: "1.5 lines spacing", căn lề trái phải mỗi bên: 3 cm, căn lề trên dưới: 2,5 cm, chế độ lề: "justified". Dung lượng mỗi bài báo khoảng 1.600-2.500 từ. Các đồ thị, hình và ảnh cần trình bày rõ ràng.

Các thuật ngữ khoa học nếu chưa được Việt hóa thì ưu tiên dùng nguyên bản tiếng Anh. Các ký hiệu viết tắt cần phải giải thích khi xuất hiện lần đầu.

Thứ tự bảng và hình được đánh số theo trình tự trong bài, không đánh theo thứ tự đề mục. Không được viết tắt các tiểu mục, tên bảng, hình vẽ. Tên bảng được ghi bên trên bảng, tên hình vẽ được ghi bên dưới hình. Chú thích in nghiêng.

Chỉ có những tài liệu được trích dẫn thực sự trong nội dung bài viết mới đưa vào phần tài liệu tham khảo. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự trích dẫn (tài liệu tiếng nước ngoài được sắp xếp theo họ của tác giả, tài liệu tiếng Việt sắp xếp theo tên tác giả) và theo trình tự: tên tác giả, năm xuất bản trong ngoặc đơn (...), tên sách, tên nhà xuất bản, nơi xuất bản (đối với sách), hoặc tên bài báo, tên tạp chí, tập, số (đối với bài báo), trang đầu và trang cuối của tài liệu. Đối với những tài liệu không có tác giả thì xếp theo chữ cái của từ đầu tiên của cơ quan ban hành tài liệu. Trọng bản thảo, ở những nội dung tác giả đã tham khảo hoặc sử dụng kết quả nghiên cứu từ các tài liệu khoa học khác, cần đánh dấu bằng số (đặt trong dấu [...]) - là số thứ tự của tài liệu xếp trong danh mục các tài liệu tham khảo. Tài liệu tham khảo cần ghi theo ngôn ngữ gốc, không phiên âm, không dịch.

3.3. Gửi hoặc nộp bài: Bản thảo gồm 2 bản in và 1 bản điện tử. Khi đăng ký nộp bài, các tác giả có thể đề xuất 2 phản biện. Việc chọn các phản biện chuyên môn phù hợp thuộc quyền của Hội đồng Biên tập Tạp chí Cơ khí Việt Nam.

3.4. Phản biện: Sau khi nhận bài viết gửi đăng đúng với Thể thức quy định của Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Hội đồng Biên tập sẽ gửi bài viết cho các phản biện.

Những bài viết được chấp nhận đăng, các tác giả sẽ nhận được thư phản hồi của Hội đồng Biên tập với thời gian sửa chữa được yêu cầu tùy theo chất lượng của bài viết. Bản sửa chữa lần cuối của tác giả sẽ được coi là bản gốc.

Bản thảo có thể nộp trực tiếp hoặc gửi qua E-mail của Tạp chí.

Quý tác giả muốn biết thêm thông tin, xin vui lòng liên hệ với **TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM**

Địa chỉ: Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Phú Diễn, TP. Hà Nội

Điện thoại: (024) 37 920 650 - 0985 696 263 / 0982 254 465

Email: Teckvn.bbkh@gmail.com * **Website:** cokhivietnam.vn

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)

TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 333, tháng 10 năm 2025
cokhivietnam.vn

TỔNG BIÊN TẬP
HÀ DUY KHÁNH

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
ĐẶNG VĂN LONG

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

PGS,TS. NGUYỄN NGỌC CHUÔNG (Chủ tịch)
GS,TS. NGUYỄN LẠC HỒNG (P. Chủ tịch)
GS,TSKH. BÀNH TIẾN LONG
TSKH. PHAN XUÂN DŨNG
PGS,TS. HÀ MINH HÙNG
PGS,TS. TRƯƠNG VIỆT ANH
GS,TS. ĐINH VĂN CHIẾN
GS,TSKH. PHẠM VĂN LANG
GS,TS. CHU VĂN ĐẠT
PGS,TS. TRẦN VĂN HƯNG
PGS,TS. ĐÀO QUANG KẾ
PGS,TS. NGUYỄN VĂN BẦY
PGS,TS. ĐÀO DUY TRUNG
PGS,TS. LÊ THU QUÝ
PGS,TS. BÙI TRUNG THÀNH
PGS,TS. LÊ VĂN ĐIỂM
GS,TS. LÊ ANH TUẤN
GS,TS. NGUYỄN HỮU LỘC
PGS,TS. DƯƠNG VĂN TÀI
TS. PHAN ĐĂNG PHONG
TS. TẠ NGỌC HẢI
PGS,TS. TRẦN NGỌC HIỀN
PGS,TS. TRƯƠNG HOÀNH SƠN
TS. HỒ TRẦN ANH NGỌC
TS. NGÔ TRỌNG BÌNH
PhD. MIKE PHÙNG

THIẾT KẾ MỸ THUẬT
NGÂN GIANG

*Tạp chí Cơ khí Việt Nam:

- In tại Công ty Cổ phần In Khoa học Công nghệ Hà Nội
- Khẩu khổ 20,5cm x 28,5cm
- 48 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 60.000 đồng/quyển Tạp chí

TẠP CHÍ



ISSN 2615 - 9910 (bản in)
ISSN 2815 - 5505 (online)

CƠ KHÍ
VIỆT NAM

VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM

• <http://cokhivietnam.vn>



- ❖ Phát triển mẫu hình hộp sọ cho trẻ sơ sinh bị đầu bẹt
- ❖ Mô phỏng hàn nối ống thép các bon trung bình bằng phương pháp phần tử hữu hạn
- ❖ Động lực học cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng

Số 333, tháng 10 năm 2025

Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 20 tháng 10 năm 2025

TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Phú Diễn, TP. Hà Nội

Điện thoại: (024) 3792 0650 **Hotline:** 0985 696 263 - 0982 254 465

Email: teckvietnam@gmail.com

Website: cokhivietnam.vn

* * *

Giấy phép hoạt động Tạp chí in và Tạp chí Điện tử của Bộ Thông tin và Truyền thông
Số 378/GP-BTTTT, ngày 22 tháng 6 năm 2021

Văn phòng đại diện:

1. Tại TP. Hồ Chí Minh:

- PGS,TS. Bùi Trung Thành
Phòng T4.0, Nhà T, Trường Đại học Công nghiệp
TP. Hồ Chí Minh
Số 12 Nguyễn Văn Bào, phường Hạnh Thông,
TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 921 407
Email: teck tphcm@gmail.com

- GS,TS. Nguyễn Hữu Lộc
Phòng 205, Nhà B11, Trường Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh,
số 268 Lý Thường Kiệt, phường Diễn Hồng,
TP. Hồ Chí Minh.
Điện thoại: 0913 603 264
Email: nhloc@hcmut.edu.vn

2. Tại tỉnh Quảng Ninh:

- TS. Hoàng Minh Thuận
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,
Số 54, khu Liên Phường, phường Yên Tử,
tỉnh Quảng Ninh
Điện thoại: 0904 116 189
Email: minhthuan.teckvn@gmail.com

3. Tại Thái Nguyên:

- GS,TS. Vũ Ngọc Pi
Số 234 tổ Phú Xá 5, phường Tích Lương,
tỉnh Thái Nguyên
Điện thoại: 0974 905 578
Email: vungocpi@tnut.edu.vn

Phòng viên thường trú:

1. Tại Hải Phòng:

- Lê Thế Hiệp
Điện thoại: 0913 063 747
Email: daidienteck@gmail.com

NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (4 – 42)

1. Phan Lê Nam, Lê Doãn Trinh, Đỗ Quang Hiệp: Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị chuẩn tần số đến 100 MHz.....	4
2. Trần Nguyên Duy Phương, Trần Lê Phương Uyên, Phan Minh Khôi, Nguyễn Quang Minh: Phát triển mẫu chỉnh hình hộp sọ cho trẻ sơ sinh bị đầu bẹt.....	10
3. KS. Lê Văn Hoạt, ThS. Mai Văn An, ThS. Tạ Bá Dũng: Nghiên cứu tính toán ảnh hưởng của tiết diện lỗ điều chỉnh khí thuốc đến vận tốc khóa nòng máy 12,7mm SM12,7-K.....	19
4. Nguyễn Hồng Thanh, Nguyễn Thị Mỹ, Bùi Thị Tuyết Nhung: Mô phỏng hàn nối ống thép các bon trung bình bằng phương pháp phân tử hữu hạn.....	23
5. PGS,TS. Trần Quang Hùng, PGS,TS. Lưu Đức Thạch, ThS. Đỗ Gia Cường: Động lực học cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng.....	28
6. Tran Huu Danh, Nguyen Cong Danh, Mai Tat Loi, Vu Ngoc Pi, Nguyen Manh Cuong: Simultaneous optimization of material removal rate and surface roughness in ultrasonic vibration-assisted EDM of HARDOX 500 using NSGA-II and MABAC.....	34

DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (43 – 44)

- LILAMA 10 tăng tốc trên công trường Hồ chứa nước Cánh Tạng.....	43
--	----

DANH SÁCH

**NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẢN BIỆN KHOA HỌC CÁC BÀI BÁO KHOA HỌC
ĐĂNG TẢI TRÊN CHUYÊN MỤC NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, SỐ 333, THÁNG 10 NĂM 2025**

TT	HỌC HÀM, HỌC VỊ; HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC
1	PGS,TS. Nguyễn Quốc Mạnh	Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên
2	PGS,TS. Thái Hà Phi	Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
3	TS. Ngô Duy Tân	Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
4	TS. Trần Quang Phước	Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
5	TS. Nguyễn Văn Hưng	Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự
6	TS. Nguyễn Văn Trang	Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ CHUẨN TẦN SỐ ĐẾN 100 MHz

RESEARCH, DESIGN, AND DEVELOPMENT OF A FREQUENCY STANDARD
DEVICE UP TO 100 MHz

Phan Lê Nam¹, Lê Doãn Trinh^{1,*}, Đỗ Quang Hiệp²

¹Trung tâm Sửa chữa Phương tiện đo, Cục Tiêu chuẩn – Đo lường – Chất lượng

²Khoa Điện – Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

*Email: anhletrinhnd@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị chuẩn tần số đến 100 MHz, phục vụ công tác đo lường và kiểm định các thiết bị và hệ thống điện tử, viễn thông. Thiết bị có khả năng phát tín hiệu chuẩn từ 0,1 Hz đến 100 MHz với độ chính xác và ổn định cao, đồng thời là một trong những thiết bị đầu tiên được chế tạo thành công trong nước với dải tần rộng như vậy. Kết quả mô phỏng và thử nghiệm thực tế cho thấy thiết bị đạt độ chính xác $\pm 3 \times 10^{-8}$, tín hiệu ra ổn định, đáp ứng tốt nhu cầu ứng dụng trong công nghiệp và quân sự.

Từ khóa: Chuẩn tần số; Tín hiệu; Độ chính xác; Tần số.

ABSTRACT

This paper presents the research, design, and development of a frequency standard device up to 100 MHz, intended for measurement and calibration of electronic and telecommunication equipment and systems. The device can generate reference signals from 0.1 Hz to 100 MHz with high accuracy and stability, and represents one of the first domestically developed instruments with such a wide frequency range. Simulation and experimental results demonstrate that the device achieves an accuracy of $\pm 3 \times 10^{-8}$, provides stable output signals, and fully meets application requirements in both industrial and military fields.

Keywords: Frequency standard; Signal; Accuracy; Frequency.

1. TỔNG QUAN

Chuẩn tần số là một trong những thành phần quan trọng trong lĩnh vực đo lường – kiểm định, đóng vai trò tham chiếu để đảm bảo độ chính xác của các thiết bị và hệ thống điện tử, viễn thông. Trên thế giới, nhiều sản phẩm chuẩn tần số thương mại đã được phát triển với độ ổn định và độ chính xác rất cao.

Các thiết bị OCXO tiêu biểu như FS725 của Stanford Research Systems [1] hay 10811A của Keysight có độ chính xác khoảng 10^{-9} và độ ổn định ngắn hạn đạt 10^{-12} – 10^{-13} . Chuẩn Rubidium như PRS10 của SRS hay Microsemi 8040C/8040CL [2] có độ chính xác dài hạn tốt hơn, đạt mức 10^{-11} – 10^{-12} . Các thiết bị GPSDO (GPS Disciplined Oscillator) như Trimble Thunderbolt E và Jackson Labs FireFly [3] có

thể đạt độ chính xác tuyệt đối đến 10^{-12} khi khóa theo GPS, trong khi một số chuẩn tần số cao cấp hơn như Cesium hoặc Hydrogen Maser [4, 5] đạt tới $10^{-13} - 10^{-15}$ nhưng chủ yếu sử dụng tại các viện đo lường quốc gia. Ở Nga, các thiết bị chuẩn tần số truyền thống thường sử dụng OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator) hoặc Rubidium, độ chính xác phổ biến trong khoảng 10^{-7} đến 10^{-9} , song thiết kế công kênh, công nghệ lạc hậu và ít phù hợp cho các nhiệm vụ cơ động.

Tuy nhiên, hầu hết các thiết bị quốc tế nói trên đều có giá thành cao, khó tiếp cận, ít linh hoạt trong tích hợp với các hệ thống đo kiểm đặc thù, và đa số chỉ cung cấp một số tần số chuẩn cố định (1 MHz, 5 MHz, 10 MHz), chưa đáp ứng yêu cầu tạo dải tần rộng đến 100 MHz. Tại Việt Nam, hiện chưa có sản phẩm thương mại hoàn chỉnh nào được nghiên cứu, chế tạo trong nước; các nghiên cứu còn rời rạc, chủ yếu dừng ở mức thử nghiệm, chưa đủ để ứng dụng rộng rãi.

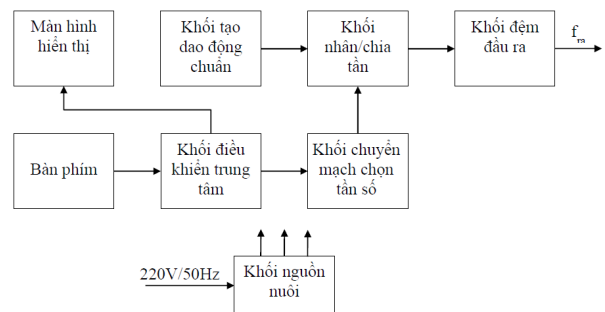
Trước thực tiễn đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu và phát triển thiết bị chuẩn tần số đến 100 MHz, nhằm cung cấp một giải pháp có độ chính xác và ổn định cao, song vẫn đảm bảo chi phí hợp lý và khả năng tùy biến. Thiết bị có thể tạo ra nhiều tần số chuẩn rời rạc trong dải từ 0,1 Hz đến 100 MHz, phục vụ tốt cho công tác kiểm tra, hiệu chuẩn và sửa chữa thiết bị điện tử, viễn thông. Các kết quả mô phỏng và thử nghiệm thực tế cho thấy thiết bị đạt độ chính xác đến mức $\pm 3 \times 10^{-8}$, một giá trị đã hoàn toàn đáp ứng đủ yêu cầu sử dụng trong thực tế công nghiệp và quân sự.

2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ

Thiết bị chuẩn tần số được phát triển

trên cơ sở sử dụng dao động tinh thể ổn nhiệt làm nguồn tần số tham chiếu. Dao động tinh thể này có ưu điểm về độ ổn định ngắn hạn, độ trôi thấp và nhiễu pha nhỏ, đảm bảo tín hiệu đầu ra duy trì tính chính xác trong thời gian dài.

Tín hiệu tham chiếu từ nguồn chuẩn tần số sau đó được xử lý qua các khối chia – nhân tần số để tạo ra dải tần chuẩn rời rạc từ 0,1 Hz đến 100 MHz. Vì điều khiển giữ vai trò điều khiển quá trình nhân – chia, lựa chọn tần số, đồng thời quản lý hiển thị và giao diện người dùng. Sơ đồ khối chức năng của thiết bị được thể hiện ở hình dưới:



Hình 1. Sơ đồ khối chức năng của thiết bị.

Nguyên lý hoạt động của thiết bị như sau: Tín hiệu từ khối tạo dao động chuẩn được đưa đến khối nhân/chia tần và khối chuyển mạch để tạo ra các tần số rời rạc theo yêu cầu. Sau đó, tín hiệu được khuếch đại và ổn định tại khối đệm đầu ra trước khi phát ra ngoài. Toàn bộ quá trình được khối điều khiển trung tâm quản lý, cho phép người dùng lựa chọn và cài đặt thông số thông qua bàn phím, đồng thời kết quả được hiển thị trên màn hình. Hệ thống được cung cấp năng lượng từ khối nguồn nuôi, chuyển đổi điện lưới 220V/50Hz thành các mức điện áp DC phù hợp cho các khối mạch.

Độ chính xác của chuẩn tần số được đánh giá thông qua quan hệ giữa tần số thực tế f_{out} và tần số danh định f_0 theo công thức sau:



$$\Delta f = f_{\text{out}} - f_0 \quad (1)$$

$$\delta f = \Delta f / f_0 \quad (2)$$

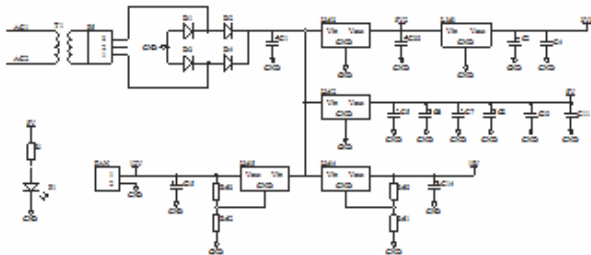
Trong đó:

- Δf : Sai số tuyệt đối của tần số (Hz);
- δf : Sai số tương đối của tần số (Hz).

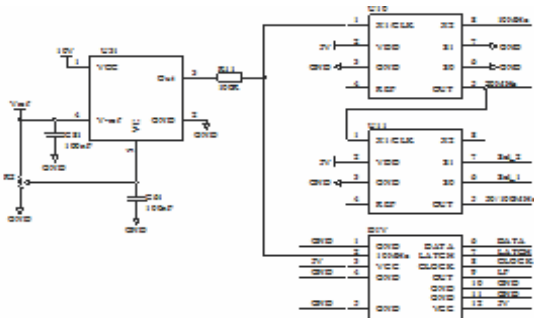
3. NGHIÊN CỨU, XÂY DỰNG SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ

3.1. Xây dựng sơ đồ nguyên lý

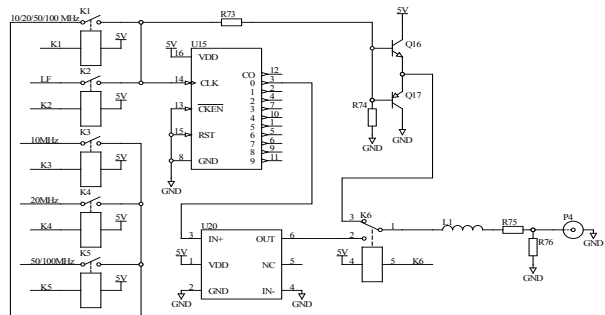
Trên cơ sở sơ đồ khối đã xây dựng, sơ đồ nguyên lý chi tiết của thiết bị được xây dựng cho từng khối chức năng nhằm xác định linh kiện, cách thức kết nối và nguyên tắc hoạt động cụ thể. Các khối nguyên lý chính bao gồm: Khối nguồn nuôi (hình 2), khối dao động chuẩn và nhân tần (hình 3), khối chuyển mạch và đệm đầu ra (hình 4), khối điều khiển trung tâm (hình 5), khối chia tần (hình 6, hình 7).



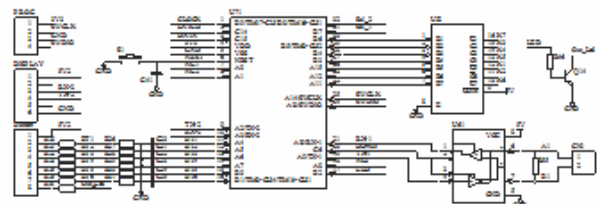
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý khối nguồn nuôi.



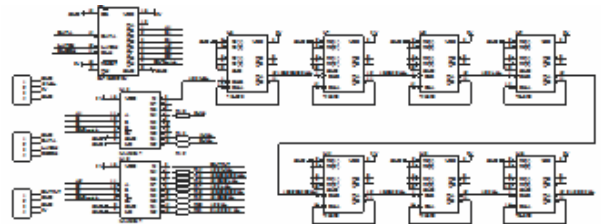
Hình 3. Sơ đồ nguyên lý khối dao động chuẩn và nhân tần.



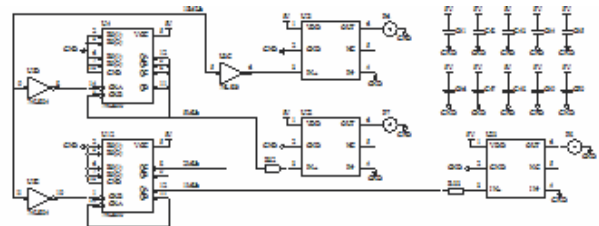
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý khối chuyển mạch và đệm đầu ra.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý khối điều khiển trung tâm



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý mạch chia tần dưới 1 MHz.



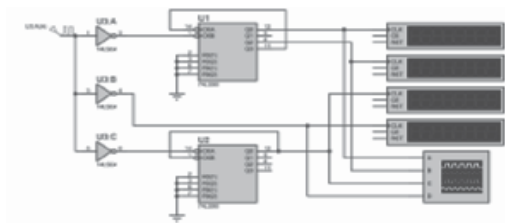
Hình 7. Sơ đồ nguyên lý mạch chia tần trên 1 MHz.

3.2. Mô phỏng thiết kế

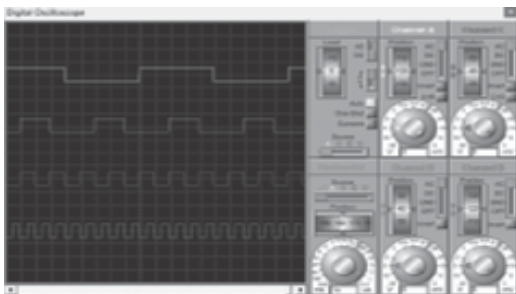
Để kiểm chứng hoạt động của thiết bị theo sơ đồ nguyên lý, nhóm nghiên cứu lựa chọn phần mềm Proteus. Đây là công cụ cho phép mô phỏng cả mạch tương tự, mạch số và

vi điều khiển, đồng thời hỗ trợ hiển thị dạng sóng, kiểm tra logic và đánh giá tín hiệu đầu ra. Việc sử dụng Proteus giúp rút ngắn quá trình thiết kế, phát hiện lỗi sớm trước khi chế tạo mạch in và lắp ráp thực tế.

Trong các khối chức năng chính của thiết bị, khối quan trọng nhất là mạch chia tần và mạch đệm đầu ra, vì vậy, trong bài báo chỉ tập trung mô phỏng khối chức năng này. Hình dưới mô phỏng sơ đồ nguyên lý và kết quả mô phỏng mạch chia tần và mạch đệm đầu ra của thiết bị.



Hình 8. Sơ đồ nguyên lý mạch chia tần.



Hình 9. Dạng xung trên Oscilloscope khi mô phỏng trên máy tính.

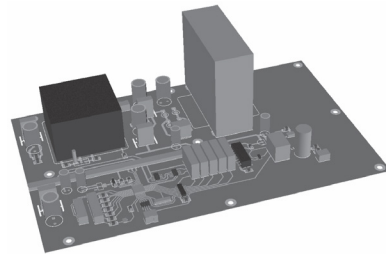
Kết quả cho thấy các mức tần số chuẩn từ 10 MHz được chia xuống theo yêu cầu, dạng sóng sau mô phỏng ổn định, đáp ứng tốt các chỉ tiêu kỹ thuật đặt ra.

4. CHẾ TẠO SẢN PHẨM

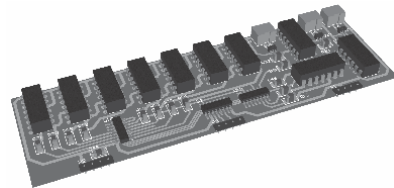
4.1. Chế tạo sản phẩm

Sau khi hoàn thành thiết kế nguyên lý

và mô phỏng, nhóm nghiên cứu đã tiến hành chế tạo thiết bị chuẩn tần số. Quá trình chế tạo được thực hiện theo các bước từ thiết kế và in mạch PCB; Lựa chọn và lắp ráp linh kiện; Thiết kế cơ khí và vỏ thiết bị. Một số hình ảnh về sản phẩm được thể hiện ở hình dưới.



Hình 10. Sơ đồ lắp ráp mạch chính.



Hình 11. Sơ đồ lắp ráp mạch chia tần.



Hình 12. Hình ảnh mặt trước của thiết bị.

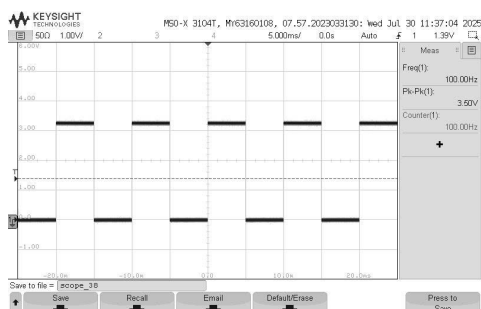


Hình 13. Hình ảnh mặt sau của thiết bị.

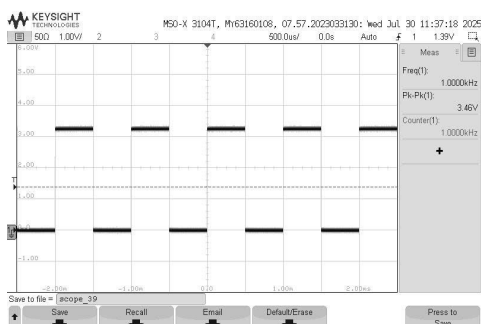
4.2. Kết quả đo đạc

Để đánh giá hoạt động của thiết bị, nhóm nghiên cứu đã tiến hành kiểm tín hiệu đầu ra ở các mức tần số chuẩn khác nhau bằng máy hiện sóng Keysight DSOX3104T. Hình ảnh tín hiệu đầu ra được thể hiện ở hình dưới. 

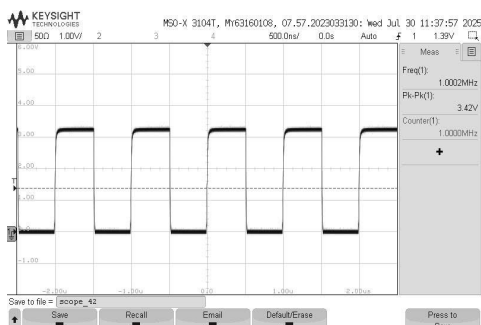
Tín hiệu đầu ra cho thấy rằng: biên độ tín hiệu duy trì ở mức khoảng 3,5 Vpp và thay đổi rất ít theo tần số. Các sườn lên và sườn xuống của xung có độ dốc lớn, hình dạng rõ ràng và ít bị méo hài, chứng tỏ mạch tạo xung có chất lượng cao. Ở các tần số thấp như 100 Hz và 1 kHz, tín hiệu thể hiện sắc nét; khi tăng lên đến hàng chục MHz, tín hiệu vẫn giữ được đặc tính gần vuông lý tưởng. Điều này cho thấy thiết bị đảm bảo được tính ổn định của biên dạng sóng, đáp ứng tốt yêu cầu sử dụng làm chuẩn phát tần số.



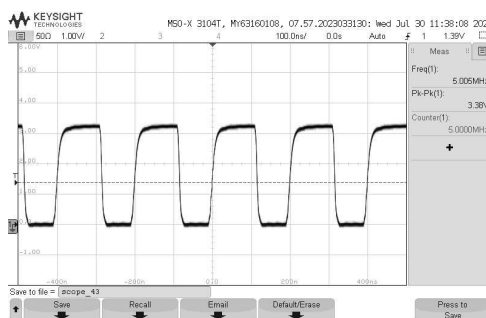
Hình 14. Hình ảnh tín hiệu đầu ra ở tần số 100 Hz.



Hình 15. Hình ảnh tín hiệu đầu ra ở tần số 1 kHz.



Hình 16. Hình ảnh tín hiệu đầu ra ở tần số 1 MHz.



Hình 17. Hình ảnh tín hiệu đầu ra ở tần số 5 MHz.

Để đánh giá về độ chính xác, nhóm nghiên cứu tiến hành so sánh tín hiệu đầu ra của thiết bị với máy đếm tần chuẩn CNT-90XL. Kết quả đo đạc được thể hiện ở bảng dưới.

Bảng 1. Độ chính xác của tần số từ thiết bị.

Tần số danh định	Giá trị đo	Sai số tuyệt đối	Sai số tương đối
100 Hz	100,000 000 30 Hz	3.0×10^{-7} Hz	3.0×10^{-9}
1 kHz	1 000,000 009 00 Hz	9.0×10^{-6} Hz	9.0×10^{-9}
1 MHz	1 000 000,025 Hz	2.5×10^{-2} Hz	2.5×10^{-8}
100 MHz	100 000 003,0 Hz	3.0 Hz	3.0×10^{-8}

Kết quả đo cho thấy độ chính xác của tần số chuẩn đạt mức 10^{-9} ở tần số thấp và khoảng 10^{-8} ở tần số cao. Cụ thể, ở 100 Hz, độ chính xác của tần số đạt 3×10^{-9} Hz, trong khi ở 100 MHz độ chính xác của tần số đạt 3×10^{-8} . Các giá trị này khẳng định thiết bị có khả năng cung cấp tín hiệu tham chiếu với độ chính xác cao. Nhờ đó, thiết bị chuẩn tần số hoàn toàn thích hợp cho các ứng dụng trong hiệu chuẩn, kiểm định và nghiên cứu khoa học, nơi yêu cầu nghiêm ngặt về độ tin cậy của nguồn tần số chuẩn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu, thiết kế, mô phỏng và chế tạo thiết bị chuẩn tần số đến 100 MHz. Thiết bị sử dụng dao động tinh thể ổn nhiệt làm nguồn dao động tham chiếu, kết hợp với các khối nhân/chia tần số và vi điều khiển để tạo ra dải tần từ 0,1 Hz đến 100 MHz.

Kết quả đo đạc thực tế cho thấy thiết bị đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật: độ chính xác cao ($\pm 3 \times 10^{-8}$), tín hiệu ổn định, nhiễu thấp, kích thước nhỏ gọn và chi phí chế tạo thấp hơn nhiều so với thiết bị nhập khẩu. Với những ưu điểm này, thiết bị có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong các phòng thí nghiệm đo lường, cơ sở hiệu chuẩn và nghiên cứu điện tử – viễn thông.

Trong tương lai, thiết bị có thể được nâng cấp theo hướng mở rộng khả năng giao tiếp với máy tính và hệ thống đo lường tự động, góp phần làm chủ công nghệ và giảm phụ thuộc vào sản phẩm nhập ngoại.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi ngân sách sự nghiệp khoa học kỹ thuật và công nghệ của Tổng cục Hậu cần – Kỹ thuật, Bộ Quốc Phòng. ❖

Ngày nhận bài: **20/8/2025**

Ngày phản biện: **03/9/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Stanford Research Systems, “FS725 – Rubidium Frequency Standard User Manual”, 2020.
- [2]. Microsemi, “8040C/8040CL Rubidium Frequency Standard Datasheet”, 2019.
- [3]. Trimble, “Thunderbolt E GPS Disciplined Clock User Guide”, 2018.
- [4]. Y. Breguet et al., “High stability OCXO design for frequency metrology applications”. IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 66, no. 5, pp. 856-864, 2019.
- [5]. R. Hodges, “Advances in GPS-disciplined oscillators for precision timing”. Proc. IEEE Int. Freq. Control Symp., pp. 144-149, 2020.

PHÁT TRIỂN MŨ CHỈNH HÌNH HỘ SỌ CHO TRẺ SƠ SINH BỊ ĐẦU BỆT

DEVELOPMENT OF A CRANIAL MOLDING HELMET FOR INFANTS WITH FLAT HEAD SYNDROME

Trần Nguyên Duy Phương^{1,*}, Trần Lê Phương Uyên², Phan Minh Khôi¹, Nguyễn Quang Minh¹

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Trung học phổ thông chuyên Lê Hồng Phong (Thành phố Hồ Chí Minh)

*Tác giả liên hệ: tnduyphuong@yahoo.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc tối ưu hóa hiệu quả hoạt động của mũ chỉnh hình thông qua ba phương án thiết kế. Phương án thứ nhất và thứ hai nhằm giải quyết các vấn đề liên quan đến nhiệt độ và độ ẩm, trong khi phương án thứ ba theo dõi stress và cảm xúc của trẻ sơ sinh với mục tiêu cải thiện trải nghiệm trong quá trình điều trị và điều chỉnh hình dạng đầu một cách hiệu quả. Ở phương án thứ nhất, chúng tôi trình bày thiết kế bằng ý tưởng đục lỗ thoát nhiệt. Tối ưu hóa phần thiết kế, vật liệu, mô phỏng nhiệt để kiểm tra hiệu quả của phương án. Ở phương án thứ hai, chúng tôi trình bày thiết kế hệ thống điều hòa không khí, mô phỏng nhiệt để xác định các vị trí cần thiết cho việc điều hòa. Chúng tôi lắp đặt các cảm biến để theo dõi nhiệt độ, độ ẩm và mô tả nguyên lý hoạt động của hệ thống điều hòa. Ở phương án thứ ba, chúng tôi cung cấp hướng dẫn về cách định vị và xác định số lượng điện cực EEG cần lắp đặt. Chúng tôi sử dụng hệ thống cung cấp khí để tăng cường tiếp xúc giữa các điện cực và da đầu. Ngoài ra, chúng tôi trình bày chi tiết về hệ thống điều khiển, từ thu thập tín hiệu EEG đến hiển thị kết quả trên màn hình.

Từ khóa: Chỉnh hình hộp sọ; Trẻ sơ sinh; Bẹt đầu; EEG.

ABSTRACT

This research focuses on optimizing the operational efficiency of molding helmets through three design options. The first and second options aim to address issues related to temperature and humidity, while the third option monitors the stress and emotions of infants to improve the experience during treatment and effectively adjust head shape. In the first option, we present a design based on the idea of heat escape holes. We optimize the design, materials, and thermal simulations to test the effectiveness of the option. In the second option, we present the design of an air conditioning system, thermal simulations to identify necessary locations for conditioning. We install sensors to monitor temperature and humidity, and describe the operating principles of the air conditioning system. In the third design option, we provide guidance on how to position and determine the number of EEG electrodes that need to be installed. We use a gas delivery system to enhance contact between the electrodes and the scalp. Additionally, we present in detail the control system, from collecting EEG signals to displaying results on the screen.

Keywords: Skull molding; Infant; Flat head; EEG.

1. GIỚI THIỆU

Hội chứng bẹt đầu ở trẻ sơ sinh là tình trạng hộp sọ của trẻ bị bất đối xứng do tác động áp lực từ bên ngoài liên tục trong một khoảng thời gian [8]. Các nguyên nhân gây nên tình trạng này gồm tình trạng đa thai hay chèn ép trong lúc sinh, việc ngủ không đổi tư thế trong thời gian dài [12]. Nghiên cứu của O'Broin [15] đã báo cáo rằng việc nằm ngửa để tránh nguy cơ đột tử ở trẻ sơ sinh lại làm tăng tình trạng bẹt đầu ở trẻ sơ sinh. Trong nghiên cứu của Stellwagen và cộng sự [17] chỉ ra tình trạng vẹo cổ (Torticollis) ở trẻ sơ sinh làm căng cứng cổ nên không thể đổi tư thế ngủ nên dẫn đến biến dạng đầu. Các dạng bẹt đầu chủ yếu gồm 3 dạng sau đây: Plagiocephaly (đầu xiên), Brachycephaly (đầu ngắn), Dolichocephaly (đầu dài).

Mũ chỉnh hình được giới thiệu lần đầu bởi Clarren [4]. Khi trẻ mắc chứng bẹt đầu ở dạng trung bình hoặc nghiêm trọng, lúc này mũ chỉnh hình được khuyến nghị sử dụng và chứng minh là có hiệu quả sau khi sử dụng và không ảnh hưởng đến sự phát triển của trẻ. Hiện nay, mũ chỉnh hình đã đạt được những tiến bộ đáng kể trong việc phục hồi hình dáng của đầu, tuy nhiên nó vẫn đang đối mặt với những hạn chế. Các mũ chỉnh hình hiện nay thường tập trung chủ yếu vào khả năng điều chỉnh hình dáng và giữ chặt đầu, nó thiếu đi sự quan tâm đến các khía cạnh điều hòa nhiệt độ và theo dõi các phản ứng của trẻ khi đội mũ. Thời gian trẻ đội mũ chỉnh hình để mang lại hiệu quả điều trị tốt nhất là hơn 20 giờ mỗi ngày [23]. Điều này làm cho trẻ tăng khả năng tiết mồ hôi và viêm da. Một vài báo cáo [19, 7] phát hiện các trường hợp bị đỏ mồ hôi và viêm da đầu do đội mũ chỉnh hình (Hình 1). Trong phiên bản nâng cấp mũ chỉnh hình về việc làm mát cho mũ, thiết kế của Vasatova [20] khoét thêm các lỗ trên mũ chỉnh hình để tăng khả năng giải nhiệt. Tuy mũ chỉnh hình đã được khoét thêm lỗ để làm mát,

một vài phản hồi từ cha mẹ của những đứa trẻ đang điều trị với mũ chỉnh hình nói rằng con của họ đã phải dừng sử dụng mũ chỉnh hình do đỏ quá nhiều mồ hôi, viêm da do quá nóng hoặc khó chịu nhiều [18].



Hình 1. Viêm da đầu do đội mũ chỉnh hình
(Nguồn [24]).

Các vấn đề như nhiệt độ và việc không thoải mái khi sử dụng mũ chỉnh hình có thể làm cho trẻ cảm thấy khó chịu và có thể dẫn đến tình trạng stress. Stress là một phản ứng của cơ thể đối với những áp lực, căng thẳng từ bên trong hoặc bên ngoài tác động đến cơ thể. Stress ở trẻ sơ sinh là một vấn đề quan trọng cần được đánh giá và giải quyết một cách cẩn thận. Trẻ sơ sinh có hệ thống thần kinh chưa phát triển nên chưa có cách ứng xử đối với các tác động bên ngoài nên cơ thể dễ bị stress hơn so với người lớn. Stress ở trẻ sơ sinh có thể gây ra các vấn đề về sức khỏe, hành vi và sự phát triển. Trẻ sơ sinh có khả năng duy trì nhiệt độ kém hơn so với người lớn do hệ thống điều chỉnh nhiệt độ ở trẻ chưa hoàn thiện [13]. Để khắc phục tình trạng stress nhiệt ở trẻ sơ sinh cần duy trì nhiệt độ môi trường phù hợp và thoải mái cho trẻ. Đối với những trẻ sinh ra ở những đới khí hậu nhiệt đới như Việt Nam, nhiệt độ khuyến nghị cho trẻ sơ sinh từ 26 - 28 độ C. Các khu vực đới khí hậu ôn đới như tại châu Âu thì nhiệt độ môi trường xung quanh trẻ sơ sinh được khuyến nghị từ 21 - 24 độ C. Độ ẩm khuyến nghị từ 40 - 60% [3].

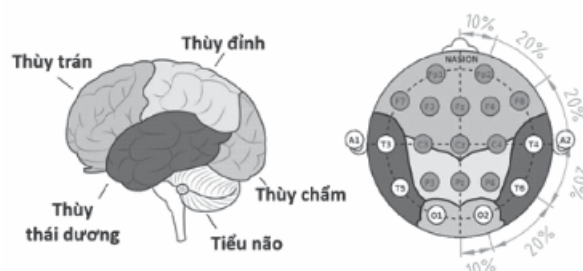
Trong khi stress, nhiệt độ ở trẻ sơ sinh có thể tạo ra những tác động không mong 

muốn, nghiên cứu về hoạt động não bộ của trẻ trong tình trạng này mở ra những cơ hội mới để hiểu rõ hơn về ảnh hưởng của môi trường nhiệt độ lên phản ứng sinh học của cơ thể. Kỹ thuật ElectroEncephaloGram (EEG) đã trở thành một công cụ mạnh mẽ, cho phép theo dõi chính xác những biến đổi điện trường trong não bộ. Việc áp dụng EEG để phân tích tính hiệu não trong ngữ cảnh stress nhiệt độ có thể mở ra những cơ hội mới để đánh giá và hiểu rõ hơn về cách não của trẻ sơ sinh hoạt động. Não bộ là một hệ thống phức tạp với các vùng chức năng như thùy trán xử lý thông tin và tư duy, thùy thái dương lưu trữ bộ nhớ và phát triển kỹ năng ngôn ngữ, thùy đỉnh nhận biết môi trường và thông tin thị giác, thùy chẩm liên quan đến giấc mơ và xử lý thông tin trong trạng thái mơ khi ngủ và tiểu não điều chỉnh thăng bằng và phối hợp cử động [14], điều đó tạo nên một hệ thống phức tạp, linh hoạt đóng vai trò quan trọng trong mọi hoạt động thể chất và tinh thần của con người. Các điện cực EEG được đặt trên da đầu và đo được sự thay đổi điện trường của tế bào não. Sự thay đổi điện trường này rất nhỏ, tuy nhiên các điện cực EEG vẫn đo được tín hiệu này. Dữ liệu thu được sẽ được hiển thị dưới dạng sóng. Dựa vào tần số và biên độ sóng, ta có thể chẩn đoán được các hành vi của não [11]. Các dải tần số sóng thu được sẽ đánh giá các trạng thái sinh lý và các vấn đề về phản ứng của cơ thể (Bảng 1).

Bảng 1. Dải tần số và hoạt động sinh lý được gán cho từng dải EEG [2]

Tên	Dải tần số (Hz)	Ý nghĩa sinh lý
Delta (δ)	< 4	Ngủ sâu
Theta (θ)	4 - 7	Thư giãn, mơ
Alpha (α)	8 - 15	Nghỉ ngơi
Beta (β)	16 - 31	Tập trung, áp lực
Gamma (γ)	> 32	Thiền sâu

Việc lắp đặt các điện cực EEG lên đầu cần tuân theo hệ thống 10 – 20 của Hiệp hội Sinh lý học Thần Kinh Lâm sàng Hoa Kỳ (ACNS) [1] để mang lại hiệu quả cao trong quá trình thu thập tín hiệu từ điện cực EEG (Hình 2).



Hình 2. Tiêu chuẩn đặt điện cực EEG trên các vùng não theo hướng dẫn của Hiệp hội Sinh lý học Thần kinh Lâm sàng Hoa Kỳ (ACNS).

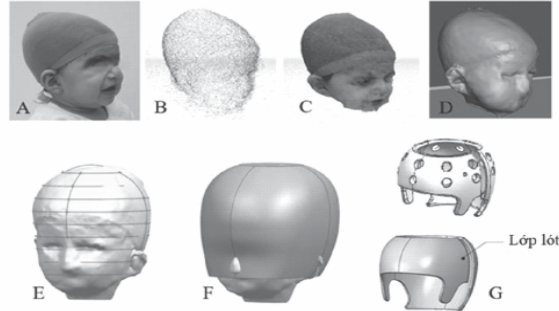
2. THIẾT KẾ

2.1. Thiết kế biên dạng mũ

Trong quá trình thiết kế cần tuân thủ nghiêm ngặt tính an toàn và tính đạo đức trong y sinh. Đạo đức y sinh bao gồm các nguyên tắc: nguyên tắc tôn trọng tự chủ, nguyên tắc không gây hại, nguyên tắc lợi ích, nguyên tắc công bằng [6]. Việc thiết kế bắt đầu từ quá trình xây dựng mô hình 3D đầu của một đứa trẻ. Chúng tôi sử dụng kỹ thuật photogrammetry để dựng mô hình 3D đầu của một trẻ nhỏ. Phương pháp này là một kỹ thuật an toàn nên sẽ không gây hại cho trẻ nhỏ và mang lại độ chính xác cao [16]. Máy ảnh được sử dụng là Canon - EOS 5D và 196 bức ảnh đã được chụp lại xung quanh trẻ (Hình 3A) và đưa vào phần mềm 3DF Zephyr xử lý (Hình 3.B). Những bức hình do trẻ di chuyển trong quá trình chụp sẽ được phần mềm loại bỏ nên đây là một ưu điểm tốt hơn so với các phương pháp quét 3D laser, CT, MRI. Sau đó, quá trình tái tạo bề mặt được diễn ra (Hình 3C). Cuối cùng là việc hậu xử lý mô hình, quá trình này được xử lý trên phần mềm Autodesk Meshmixer (Hình 3D). Quá

trình thiết kế mũ được thiết kế trên phần mềm Unigraphics NX12. Các khung của mũ được tạo ra và bám sát với biên dạng đầu, điều này

đảm bảo mũ sẽ vừa vặn với đầu (Hình 3E). Sau khi tạo khung, mũ sẽ được tạo và loại bỏ những phần thừa (Hình 3G).

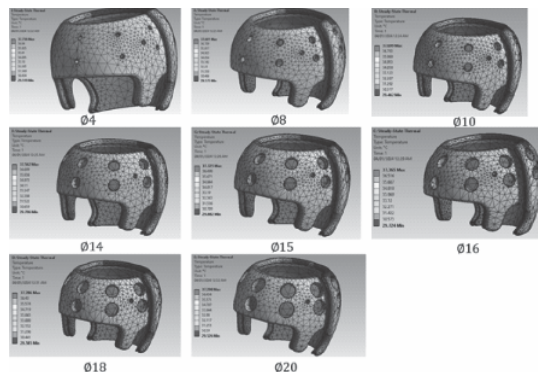


Hình 3. Quá trình tạo mô hình 3D: (A) Trẻ được chụp ảnh lại từ nhiều góc độ, (B) Ảnh được phân tách thành các điểm ảnh, (C) Tải tạo bề mặt, (D) Quá trình hậu xử lý, (E) Tạo các đường khung cho mũ, (F) Tạo khối cho mũ, (G) Các bộ phận của mũ chỉnh hình.

Việc chọn kích thước để khoét lỗ giải nhiệt cho mũ phải đảm bảo giải nhiệt tốt nhất và tối ưu hóa vật liệu nhất. Phía dưới là kết quả mô phỏng nhiệt của một số kích thước lỗ khác nhau.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng nhiệt bằng Ansys

Kích thước	Nhiệt độ trung bình	Nhiệt độ cao nhất	Nhiệt độ thấp nhất	$\Delta_{t_{TB}/max}$	$\Delta_{t_{TB}/min}$	Δ_{TB}
Ø4	35.644	37.756	29.519	2.112	6.125	8.237
Ø8	35.792	37.601	29.575	1.809	6.217	8.026
Ø10	35.816	37.699	29.462	1.883	6.354	8.237
Ø14	35.974	37.562	29.796	1.588	6.178	7.766
Ø15	35.979	37.325	29.882	1.346	6.097	7.443
Ø16	35.989	37.365	29.724	1.376	6.265	7.641
Ø18	35.996	37.286	29.585	1.29	6.411	7.701
Ø20	36.014	37.298	29.526	1.284	6.488	7.772



Hình 4. Mô phỏng nhiệt từ lỗ Ø4 đến Ø20 bằng phần mềm Ansys

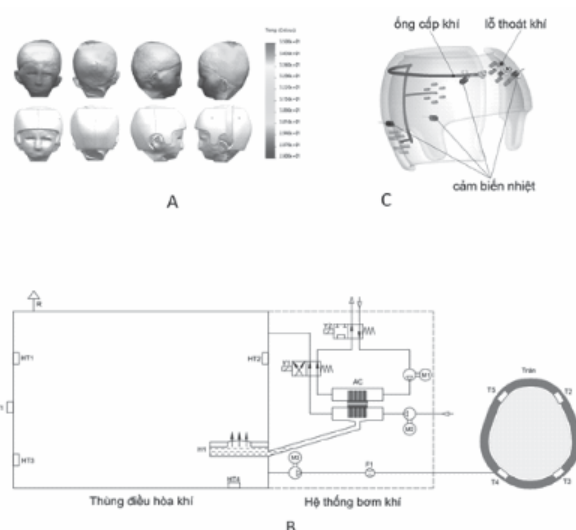
Với cách mô phỏng nhiệt bằng phần mềm Ansys, chúng tôi nhận thấy rằng với kích thước Ø15 mũi có khả năng thoát nhiệt tốt nhất, với kích thước lỗ này thì giảm được khá nhiều phần vật liệu, đồng thời làm giảm khối lượng mũi.

2.2. Thiết kế hệ thống điều hòa nhiệt độ

Việc sử dụng mũi chỉnh hình trong thời gian dài sẽ làm cho trẻ bị nóng và cảm thấy khó chịu. Trong thiết kế này, chúng tôi đề xuất phương án điều hòa nhiệt độ cho mũi chỉnh hình với mục đích mang lại cảm giác thoải mái trong bất kỳ thời tiết nào. Trong điều kiện thời tiết lạnh, hệ thống sẽ cung cấp nguồn nhiệt để sưởi ấm cho đầu trẻ. Ngược lại, với thời tiết nóng hệ thống sẽ cấp dòng khí mát để làm dịu cơn nóng.

Đầu tiên là quá trình mô phỏng nhiệt để xác định các vị trí có nhiệt độ cao và bố trí hệ thống làm mát tại những vị trí này. Mô hình đầu được đội mũi và tiến hành mô phỏng nhiệt trên phần mềm Solidworks 2019. Nhìn vào kết quả phân tích nhiệt (Hình 5A), các vùng nhiệt độ cao tập trung ở phía sau gáy và phía trên của phần trán. Các hệ thống ống khí sẽ được cấp và làm mát tại vùng này. Các cảm biến T2, T3, T4, T5 bên trong mũi có tác dụng đo nhiệt độ hiện tại bên trong mũi.

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống làm mát được mô tả ở Hình 5B. Việc tạo các dòng khí nóng và lạnh sẽ được tạo bởi module Peltier tại vị trí máy điều hòa AC. Module Peltier là một thiết bị nhiệt điện (thermoelectric) hoạt động dựa trên hiệu ứng Peltier. Khi được cấp điện từ nguồn 12V, tấm Peltier tạo ra sự chuyển động của các hạt điện tích trong dẫn nhiệt, gây ra sự nóng lên ở một bề mặt và làm lạnh ở bề mặt khác.

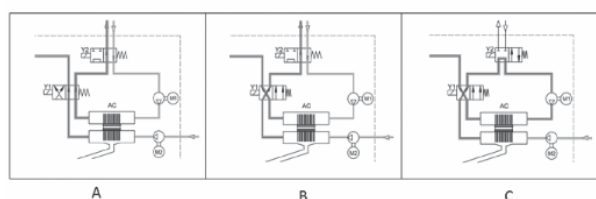


Hình 5. (A) Mô phỏng nhiệt khi đội mũi, (B) Sơ đồ nguyên lý điều hòa nhiệt độ, (C) Hệ thống ống khí trên mũi.

Khi cần làm mát (Hình 6) cho mũi, máy bơm M2 (CH298RB52QY của hãng Excluzo, Trung Quốc) sẽ cấp dòng khí đi qua mặt lạnh của tấm Peltier. Dòng khí đi ngang các thanh tản nhiệt ở nhiệt độ thấp làm cho dòng khí lạnh đi qua và ngưng tụ hơi nước tại các thanh tản nhiệt. Như vậy, dòng khí lạnh và khô này sẽ được bơm qua van Y1 (J4V110-06 của hãng JELPC, Trung Quốc) và cấp vào thùng điều hòa có thể tích 26 lít. Nhiệt độ và độ ẩm trong thùng điều hòa được kiểm soát thông qua các cảm biến HT1, HT2, HT3 và HT4 (Module DHT11 của hãng Aosong, Trung Quốc). Độ ẩm khuyến nghị để làm cho trẻ thoải mái là từ 40% đến 60% RH. Nhiệt độ khuyến nghị vào ban ngày khoảng 27 ± 1 độ C, và ban đêm khoảng 28 ± 1 độ C tại các vùng có khí hậu nhiệt đới. Tại các vùng có khí hậu ôn đới, nhiệt độ này thấp hơn khoảng 22 ± 1 độ C vào ban ngày và 24 ± 1 độ C vào ban đêm (Blume và cộng sự, 2016). Khi độ ẩm quá thấp, một module cấp ẩm H1 được kích hoạt và cấp lại độ ẩm cho khối khí trong thùng. Quá trình làm mát khối khí bên trong thùng có thể mất đến 15 phút. Trong khoảng thời gian này, khí lạnh sẽ được cấp liên tục vào

trong thùng chứa. Do đó, áp suất trong thùng điều hòa tăng cao gây nên hiện tượng nhiệt độ sẽ tăng cao theo nguyên lý Joule-Thomson. Để khắc phục tình trạng này, một ống xả áp R được lắp đặt trên thùng. Nhiệt độ và độ ẩm sau khi đạt được giá trị phù hợp sẽ được bơm M3 thổi dòng khí này vào mũ chỉnh hình để làm mát. Vận tốc cấp khí cho mũ chỉnh hình được điều chỉnh nằm trong khoảng 0.5 đến 1.5 m/s và được kiểm soát bằng van đo lưu lượng F1. Tín hiệu từ van đo lưu lượng là cơ sở để điều khiển vận tốc cấp khí của máy bơm M3.

Quá trình sưởi ấm cho mũ chỉnh hình xảy ra ngược lại với quá trình làm lạnh. Theo sơ đồ nguyên lý Hình 4B, nếu nhiệt độ bên trong mũ quá thấp được đo từ các cảm biến nhiệt T2, T3, T4, T5 thì tín hiệu từ các cảm biến này sẽ kích hoạt và chuyển trạng thái hệ thống van Y1 (Hình 6B) và cấp dòng khí nóng vào trong thùng điều hòa. Nếu dòng khí nóng trong thùng mang độ ẩm quá cao vượt quá giá trị khuyến nghị cho phép là 60%. Dòng khí lạnh và khô từ máy bơm M2 thay vì bơm ra ngoài môi trường sẽ là nguồn khí cung cấp lại cho máy bơm M1 thông qua việc chuyển trạng thái van Y2 (Hình 6C). Quá trình làm ẩm khí được kiểm soát nghiêm ngặt bởi các cảm biến. Sau khi khối khí đạt đúng nhiệt độ và độ ẩm yêu cầu, khối khí này sẽ được máy bơm M3 cấp vào mũ chỉnh hình.



Hình 6. Nguyên lý điều hòa nhiệt độ: (A) Làm mát khí với độ ẩm phù hợp, (B) Làm ẩm khí với độ ẩm phù hợp, (C) Làm ẩm khí với độ ẩm cao.

2.3. Thiết kế mũ chỉnh hình tích hợp EEG

Trong nỗ lực nghiên cứu và phát triển

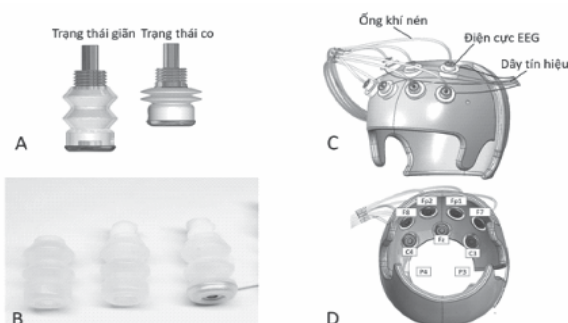
giải pháp mũ chỉnh hình cho trẻ mắc chứng bại đầu, chúng tôi đã đặt ra một mục tiêu quan trọng: tối ưu hóa sự thoải mái và trải nghiệm của trẻ khi đeo mũ. Đối diện với thực tế rằng việc đeo mũ có thể gây ra cảm giác nóng và khó chịu cho trẻ nhỏ. Chúng tôi đề xuất tích hợp các điện cực EEG vào mũ chỉnh hình, không chỉ nhằm mục đích điều chỉnh hình dạng đầu của trẻ mà còn để đo lường cảm xúc và hành vi của trẻ trong quá trình sử dụng. Bằng cách này, chúng tôi có thể không chỉ cải thiện tình trạng về hình dạng đầu mà còn nắm bắt được những phản ứng cảm xúc và sự thoải mái của trẻ. Từ đó đưa ra các điều chỉnh phù hợp để tối ưu hóa trải nghiệm đeo mũ. Điều này mở ra một hướng đi mới cho việc hiểu rõ hơn về tâm lý và cảm xúc của trẻ. Chúng tôi tin rằng sự kết hợp giữa công nghệ đo lường và thiết kế chăm sóc sức khỏe sẽ mang lại những tiến bộ đáng kể trong việc giải quyết vấn đề này và tạo ra mũ chỉnh hình không chỉ chăm sóc về mặt y tế mà còn mang lại trải nghiệm thoải mái và tích cực cho trẻ nhỏ. Hiện nay, kỹ thuật EEG không chỉ đơn thuần là những máy móc ở các phòng y tế, nhiều sự phát triển về EEG đã được tích hợp vào mũ cho người lao động để theo dõi họ trong quá trình làm việc [22] hoặc khai thác tín hiệu từ EEG để điều khiển các trò chơi [10].

Điện cực ướt có ưu điểm với trở kháng thấp, độ ổn định cao nên cung cấp tín hiệu khá tin cậy [21]. Tuy nhiên, quá trình lắp đặt điện cực ướt tốn nhiều thời gian và không thích hợp với tính năng di động hay tháo lắp thường xuyên. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng điện cực khô làm từ silicone. Do silicone có độ đàn hồi và tương thích sinh học tốt nên sẽ giúp trẻ nhỏ cảm thấy thoải mái nên việc nhận tín hiệu sẽ tốt hơn. Điện cực silicone được chọn sử dụng là DX-S02A (Greentek, Trung Quốc) [9]. Điện cực này được cấu tạo gồm 3 phần: (1) Phần điện cực giúp nhận tín hiệu sóng não; (2) Phần lò xo làm bằng silicone có khả năng co giãn (hình 6A), khi cấp khí phần lò xo này



sẽ giãn ra và giúp điện cực EEG tiếp xúc với đầu tốt hơn; (3) Phần ren M10 được kết nối với mũ chỉnh hình. Trong nghiên cứu của Geoffroy [5] đã trình bày rằng các bác sĩ đã thử nghiệm lâm sàng và kết luận áp lực từ việc sinh trưởng của đầu trẻ sơ sinh tác dụng lên mũ chỉnh hình là 1000 Pa ($0.1 \text{ N/cm}^2 \approx 10 \text{ g/cm}^2$) trong điều kiện trẻ đội mũ mà vẫn cảm thấy thoải mái. Với tiết diện của bề mặt tiếp xúc điện cực EEG là 1 cm^2 . Vậy áp lực cần thiết của điện cực EEG tác dụng lên đầu là 0.1 N. Trong nghiên cứu này, đường kính trong của ống cấp khí là 4 mm nên diện tích mặt cắt ngang là $1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Ta có thể xác định được áp suất cần thiết cấp cho điện cực là 8000 Pa.

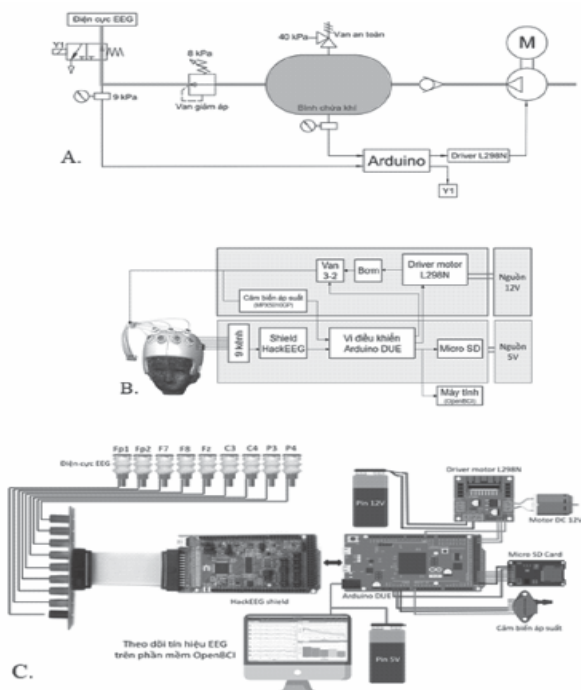
Vị trí lắp đặt các điện cực được tuân theo tiêu chuẩn 10 – 20 (Hình 2) về lắp đặt điện cực EEG được Hiệp hội Sinh lý học Thần kinh lâm sàng Hoa Kỳ hướng dẫn. Đồng thời dựa vào các chức năng của các vùng não để lựa chọn số lượng điện cực cần lắp đặt. Đối với thùy đỉnh sẽ cảm nhận các tác động từ môi trường, thùy trán sẽ quyết định về mặt cảm xúc và tư duy nên thùy đỉnh và thùy trán là vùng được lựa chọn để lắp đặt điện cực. Theo tiêu chuẩn 10 – 20, vị trí lắp đặt điện cực EEG sẽ là 9 vị trí bao gồm: Fp1, Fp2, F7, F8, Fz, C3, C4, P3, P4 (Hình 7D).



Hình 7. (A) Khả năng co giãn của điện cực; (B) Hình ảnh thực tế của điện cực; (C) Mũ chỉnh hình được lắp các điện cực EEG; (D) Mặt trong của mũ và vị trí lắp đặt các điện cực EEG theo tiêu chuẩn 10-20 của ACNS.

Theo sơ đồ khối nguyên lý hoạt động mũ chỉnh hình tích hợp hệ thống EEG được mô tả như Hình 7B, khi trẻ bị stress hoặc phản ứng lại các tác động từ môi trường, các tế bào não sẽ hoạt động và truyền tín hiệu lẫn nhau. Điều này làm cho từ trường xung quanh các tế bào não thay đổi và các điện cực EEG sẽ đo được sự thay đổi này. Các tín hiệu này sẽ được truyền về bo mạch mở rộng HackEEG shield, ở đây các tín hiệu nhận được từ các điện cực sẽ được khuếch đại lên và chuyển thành các dữ liệu số. Điều này sẽ giúp tín hiệu rõ ràng và dễ xử lý hơn. Các tín hiệu sau khi được khuếch đại lên sẽ được đưa về vi điều khiển Arduino DUE. Tín hiệu nhận được ở Arduino DUE sẽ được xuất kết quả hiển thị lên màn hình máy tính thông qua phần mềm OpenBCI. OpenBCI là một phần mềm mã nguồn mở và miễn phí chuyên phân tích về tín hiệu não và dùng cho mục đích nghiên cứu khoa học hoặc các dự án sáng tạo liên quan đến EEG.

Đôi lúc trẻ cần hoạt động và tách rời khỏi hệ thống màn hình EEG và hệ thống cấp khí cho những mục đích cá nhân riêng. Lúc này, các EEG không còn được cấp khí nên khả năng tiếp xúc giữa điện cực EEG và da đầu sẽ giảm, vì vậy cần thoa lên các điện cực một loại gel kết dính có trộn thêm các chất giúp dẫn tín hiệu tốt hơn. Các tín hiệu thu thập được sẽ được đưa về Arduino DUE và ghi trực tiếp lên thẻ nhớ. Hệ thống này được duy trì bằng nguồn pin 5 V. Các dữ liệu được lưu trữ tại thẻ nhớ được đem đi phân tích sau đó. Trong tương lai, dữ liệu từ thẻ nhớ này sẽ được đem đi phân tích chuyên sâu và kết hợp với trí tuệ nhân tạo và học máy để đưa ra các kết luận tương đối chính xác về mặt cảm xúc và hành vi của trẻ.



Hình 8. (A) Sơ đồ cấp khí cho điện cực EEG;
(B) Sơ đồ khối điều khiển;
(C) Sơ đồ hướng dẫn lắp mạch.

Hệ thống cấp khí cho các điện cực EEG được mô tả tại Hình 8A. Trong nghiên cứu này, máy bơm khí được chọn sử dụng là CH298RB52QY của hãng Excluzo. Máy bơm này hoạt động với điện áp 12 VDC và có khả năng cấp khí lên đến 5 lít/phút với áp suất bơm tối đa là 120 kPa. Motor bơm khí này được điều khiển thông qua driver L298N được kết nối với Arduino DUE. Khí được máy bơm cung cấp đi qua van một chiều và đi vào thùng chứa khí. Thùng chứa khí này được giới hạn áp suất thông qua một van an toàn được thiết lập giá trị khoảng 40 kPa. Trong thùng chứa khí sẽ lắp đặt một cảm biến áp suất có thể đo áp suất tối đa là 100 kPa (MPX5010GP của hãng NXP Semiconductors, Hà Lan). Khi giá trị áp suất trong thùng khí giảm còn khoảng 15 kPa, cảm biến áp suất này sẽ truyền tín hiệu về Arduino. Arduino sẽ cấp lệnh cho driver điều khiển motor hoạt động bơm khí trở lại để nâng áp suất trong bình lên.

Dòng khí từ thùng chứa này sẽ đi qua một van giảm áp (ITV1000 của hãng SMC, Nhật Bản) được thiết lập giá trị là 8000 Pa và sẽ được cung cấp đến van Y1. Dòng khí sẽ đi qua van này và cung cấp cho điện cực EEG. Nếu hệ thống cấp khí gặp lỗi và trong trường hợp xấu một áp suất cao có thể tác động lên đầu của đưa trẻ. Để đảm bảo về an toàn này, một cảm biến áp suất được lắp sau hệ thống van giảm áp 8000 Pa, nếu giá trị tăng quá cao so với giá trị 8000 Pa thì cảm biến áp suất sẽ cung cấp tín hiệu về Arduino để điều khiển van Y1 để ngắt ngay dòng khí cấp cho điện cực EEG nhằm đảm bảo an toàn cho trẻ.

Trong Hình 8C, chúng tôi trình bày cách thức kết nối các linh kiện và cảm biến với vi điều khiển Arduino DUE. Đầu tiên, kết nối các dây tín hiệu từ điện cực EEG vào các kênh trên HackEEG shield. Sau đó, HackEEG shield được gắn lên phía trên của Arduino. Kết nối các chân nguồn và chân GND trên cảm biến hoặc linh kiện với Arduino. Các chân tín hiệu được kết nối với các cổng digital hoặc analog tương ứng.

Nhờ sự tích hợp của hệ thống điều hòa nhiệt độ vào mũ chỉnh hình, chúng tôi đã đạt được những kết quả tích cực trong việc giải quyết vấn đề nóng và viêm da khi trẻ đội mũ. Các cảm biến và vi điều khiển kết hợp hiệu quả để cung cấp dòng khí mát khi cần thiết và làm ấm môi trường khi trẻ cần. Kết quả cho thấy sự giảm đáng kể về tình trạng viêm da và thoải mái hơn khi đội mũ. Điều này giúp trẻ duy trì việc điều trị mà không gặp phải những vấn đề không mong muốn.

Với phiên bản mũ chỉnh hình tích hợp hệ thống các điện cực EEG đã cho phép chúng tôi hiểu rõ hơn về cảm xúc, hành vi và phản ứng của trẻ sơ sinh trong quá trình đội mũ chỉnh hình. Việc lấy tín hiệu não và phân tích chúng đã mang lại thông tin quan trọng về tâm trạng

và sự thoải mái của trẻ. Hệ thống cấp khí thông minh đã giúp tối ưu hóa việc tiếp xúc giữa điện cực và da đầu, đồng thời đảm bảo việc thu thập tín hiệu được thực hiện một cách chính xác.

3. KẾT LUẬN

Qua ba phiên bản mẫu chỉnh hình, chúng tôi đã trình bày những phát triển trong việc giải quyết một số vấn đề khi điều trị cho trẻ sơ sinh bị bẹt đầu. Mẫu chỉnh hình khoét lỗ tản nhiệt, hệ thống điều hòa nhiệt độ và hệ thống EEG không chỉ giúp giảm viêm da mà còn giúp giám sát trạng thái tâm lý của trẻ trong quá trình điều trị. ❖

Ngày nhận bài: 21/7/2025

Ngày phản biện: 12/8/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Acharya, J. N. (1991), "American Electroencephalographic Society guidelines for standard electrode position nomenclature". *Journal of Clinical Neurophysiology*, 8(2), 200-202.
- [2]. Baig, M.Z., Aslam, N., & Shum, H.P. (2020), "Filtering techniques for channel selection in motor imagery EEG applications: a survey". *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 1207-1232. [CrossRef]
- [3]. Blume-Peytavi, U., Lavender, T., Jenerowicz, D., Ryumina, I., Stalder, J.-F., Torrello, A., & Cork, M. J. (2016), "Recommendations from a European roundtable meeting on best practice healthy infant skin care". *Pediatric Dermatology*, 33(3), 311-321. [CrossRef]
- [4]. Clarren, S. K., Smith, D. W., & Hanson, J. W. (1979), "Helmet treatment for plagiocephaly and congenital torticollis". *The Journal of Pediatrics*, 94(1), 43-46. [CrossRef]
- [5]. Geoffroy, M., Gardan, J., Goodnough, J., & Mattie, J. (2018), "Cranial remodeling orthosis for infantile plagiocephaly created through a 3D scan, topological optimization, and 3D printing process". *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 30(1), 38-44. [CrossRef]
- [6]. Iserson, K.V. (1999), "Principles of biomedical ethics". *Emergency Medicine Clinics of North America*, 17(2), 283-306. [CrossRef]
- [7]. Keshtgar, M. (2015), "Evaluating the Effectiveness of Cranial Molding for Treatment of Positional Plagiocephaly Using Finite Element Analysis". *Engineering, Medicine*. [CrossRef]
- [8]. Kinney, C. M., Cunningham, M. L., Holt, V. L., Leroux, B., & Starr, J. (2008), "Characteristics of 2733 cases diagnosed with deformational plagiocephaly and changes in risk factor over time". *Cleft Palate Craniofac*, 45(2), 371-380. [CrossRef]
- [9]. Li R, Zhang Y, Fan G, Li Z, Li J, Fan S, Lou C and Liu X. (2023), "Design and implementation of high sampling rate and multichannel wireless recorder for EEG monitoring and SSVEP response detection". *Front Neurosci*. 17:1193950. [CrossRef]
- [10]. Liao, L.-D., Chen, C.-Y., Wang, I.-J., Chen, S.-F., Li, S.-Y., Chen, B.-W., Chang, J.-Y., & Lin, C.-T. (2012), "Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors". *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1). [CrossRef]
- [11]. Lopez-Gordo, M., Sanchez-Morillo, D., & Valle, F. (2014), "Dry EEG Electrodes". *Sensors*, 14(7), 12847-12870. [CrossRef]
- [12]. Loveday, B. P. T., & De Chalain, T. (2001), "Active counter positioning or orthotic device to treat Positional Plagiocephaly?". *Journal of Craniofacial Surgery*, 12(4), 308-313. [CrossRef]
- [13]. Lyon, A.J., Pikaar, M.E., Badger, P., & McIntosh, N. (1996), "Temperature control in very low birthweight infants during first five days of life". *Archives of Disease in Childhood Fetal and Neonatal Edition*, 76(1), 47-50. [CrossRef]
- [14]. Marshall, L. H., & Magoun, H. W. (1998), "Discoveries in the Human Brain: Neuroscience Prehistory". *Brain Structure, and Function* (pp. 64-96). Humana. [CrossRef]
- [15]. O'Broin, E. S., Allcutt, D., & Earley, M. J. (1999), "Posterior plagiocephaly: proactive conservative management". *British Journal of Plastic Surgery*, 52(11), 18-23. [CrossRef]
- [16]. Shashi, M., & Jain, K. (2007), "Use of photogrammetry in 3D modeling and visualization of buildings". *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 37-40.
- [17]. Stellwagen, L., Hubbard, E., Chambers, C., & Jones, K. L. (2008), "Torticollis, facial asymmetry and plagiocephaly in normal newborns". *Arch Dis Child*, 93(10), 827-831. [CrossRef]
- [18]. Takamatsu, A., Hikosaka, M., Kaneko, T., Mikami, M., & Kaneko, A. (2021), "Evaluation of the Molding Helmet Therapy for Japanese Infants with Deformational Plagiocephaly". *Journal of the Medical Association of Japan*, 4(1), 50-60. [CrossRef]
- [19]. Van Wijk, R. M., Van Vlimmeren, L. A., Groothuis-Oudshoorn, C. G. M., Van der Ploeg, C. P. B., IJzerman, M. J., & Boere-Boonekamp, M. M. (2014), "Helmet therapy in infants with positional skull deformation: Randomised controlled trial". *BMJ*, 348, 27-41. [CrossRef]
- [20]. Vasatova, A., Jaros, M., Karasek, T., Strakos, P., & Maly, L. (2019), "Procedure for modification of a head scan for cranial orthosis design". *Central European Symposium on Thermophysics*, 2116(1).
- [21]. Wang, H., Yan, F., Xu, T., Yin, H., Chen, P., Yue, H., et al. (2021), "Braincontrolled wheelchair review: From wet electrode to dry electrode, from single modal to hybrid modal, from synchronous to asynchronous". *IEEE*, 55920-55938. [CrossRef]
- [22]. Wang, Y., Huang, Y., Gu, B., Cao, S., & Fan, D. (2023), "Identifying mental fatigue of construction workers using EEG and deep learning". *Automation in Construction*, 145. [CrossRef]
- [23]. Yoo, H. S., Rah, D. K., & Kim, Y. O. (2012), "Outcome analysis of cranial molding therapy in nonsynostotic plagiocephaly". *Archives of Plastic Surgery*, 39(4), 338-344. [CrossRef]
- [24]. Monicasmommusings, "The story of my son's DOC band", 24 09 2014. [Online].

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ẢNH HƯỞNG CỦA TIẾT DIỆN LỖ ĐIỀU CHỈNH KHÍ THUỐC ĐẾN VẬN TỐC KHÓA NÒNG MÁY 12,7mm SM12,7-K

RESEARCH AND CALCULATION OF THE EFFECT OF GAS REGULATOR PORT CROSS-SECTION ON THE BOLT CARRIER VELOCITY OF THE 12.7mm SM12.7-K MACHINE GUN

KS. Lê Văn Hoạt¹, ThS. Mai Văn An², ThS. Tạ Bá Dũng²

¹Nhà máy Z111, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

²Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

TÓM TẮT

Súng máy 12,7mm SM12,7-K được thiết kế theo nguyên lý trích khí, pít-tông lùi dài khóa nòng xoay. Khóa nòng là khâu cơ sở của máy tự động khi bắn. Súng có cơ cấu điều chỉnh khí thuốc nhằm thay đổi tốc độ bắn trong các điều kiện chiến đấu khác nhau. Nghiên cứu này trình bày về bài toán động lực học máy tự động, đồng thời nghiên cứu sự ảnh hưởng của tiết diện các lỗ điều chỉnh khí thuốc đến vận tốc khóa nòng khi bắn. Kết quả của nghiên cứu có thể áp dụng cho việc tính toán thiết kế các loại súng có kết cấu tương tự cũng như làm cơ sở cho quá trình đánh giá tác động sự hao mòn lỗ trích khí khi sử dụng lâu dài.

Từ khóa: Súng máy 12,7mm; Trích khí; Điều chỉnh trích khí.

ABSTRACT

The 12.7mm SM12.7-K machine gun is designed based on the gas-operated principle with a long-stroke piston and rotating bolt system. The bolt assembly is the fundamental component of the automatic mechanism during firing. The weapon features a gas regulation system designed to adjust the rate of fire under different combat conditions. This study presents the dynamics problem of the automatic mechanism while investigating the influence of gas regulator port cross-sections on bolt carrier velocity during firing. The research results can be applied to design calculations for weapons with similar configurations and serve as a foundation for evaluating the impact of gas port wear during extended use.

Keywords: 12.7mm machine gun; Gas-operated system; Gas regulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Súng máy 12,7mm SM12,7-K là loại súng trang bị cho cá nhân dùng để tiêu diệt sinh lực địch, cừ điểm mặt đất hoặc phòng không tầm thấp. Súng dùng đạn 12,7x108mm, có một

chế độ bắn liên thanh. Súng hoạt động theo nguyên lý trích khí, nòng súng khi bắn được làm mát bằng không khí; tiếp đạn bằng dây, hộp tiếp đạn có thể tháo lắp nhanh chóng và súng chỉ có tính năng bắn tự động giúp nó trở thành một loại vũ khí cá nhân chứ không phải

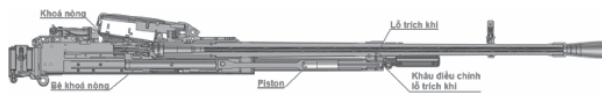
là vũ khí tập thể. Với khả năng tác chiến đa dạng, súng được thiết kế cơ cấu điều chỉnh trích khí để tăng hiệu quả chiến đấu.

2. BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC MÁY TỰ ĐỘNG VÀ NHIỆT ĐỘNG BÙNG KHÍ

2.1. Cấu tạo máy tự động và khâu điều chỉnh trích khí thuốc



Hình 1. Súng máy 12,7mm SM12,7-K



Hình 2. Cấu tạo cụm máy tự động và cơ cấu điều chỉnh trích khí thuốc

Súng máy 12,7mm SM12,7-K (hình 2) bao gồm các bộ phận chính: Nòng súng, Thân súng, Cụm khóa nòng (Thân khóa nòng, Khóa nòng), Cụm lò xo đẩy về (Cốt lò xo đẩy về, Lò xo đẩy về), Khâu truyền khí, Piston đẩy về... Đối với súng hoạt động theo nguyên lý trích khí, bài toán nhiệt động buồng khí là thành phần quan trọng khi xây dựng bài toán động lực học máy tự động. Đây là bài toán phức tạp liên quan đến nhiều thông số về kết cấu và thông số của khí thuốc. Vì súng bắn đạn tiêu chuẩn 12,7×108mm nên có thể coi các thông số về khí thuốc là ổn định trong quá trình bắn và máy tự động của súng đã hoạt động đúng quy luật.

Việc tính toán, khảo sát các thông số lỗ trích khí được kết hợp với giải bài toán động lực học máy tự động nhằm đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi áp suất khí thuốc trong buồng khí đến hoạt động của khâu cơ sở.

2.2. Bài toán áp suất buồng khí và động lực học máy tự động

Trên cơ sở các giả thiết cơ bản, kết hợp với kết cấu thực tế của súng và đạn xây dựng hệ phương trình giải bài toán áp suất buồng khí và động lực học của súng như sau [1], [2]:

- Hệ phương trình động lực học máy tự động:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \xi_1 \xi_2 \frac{p \cdot S}{\varphi \cdot m} \\ \frac{dl}{dt} = \xi_1 \xi_2 \cdot v \\ \frac{dz}{dt} = \xi_2 \cdot \frac{p}{I_k} \\ \frac{d\omega_z}{dt} = \xi_2 \chi \cdot \omega \cdot (1 + 2\lambda \cdot z) \cdot \frac{p}{I_k} - \sum_{i=1}^n \xi_i G_{bi} - (1 - \xi_2) G_d \\ \frac{dw}{dt} = \xi_2 \cdot \frac{1 - \alpha \cdot \delta}{\delta} \cdot \chi \cdot \omega \cdot (1 + 2\lambda \cdot z) \cdot \frac{p}{I_k} + \xi_3 s v \\ \frac{dp}{dt} = \frac{1}{w} \left[\left[\xi_2 \cdot \frac{p \cdot \chi \cdot \omega}{I_k} \left(f - K_p \cdot \frac{1 - \alpha \cdot \delta}{\delta} \right) (1 + 2\lambda \cdot z) - \xi_3 K_p s v \right] - K_p \left[\sum_{i=1}^n \xi_i G_{bi} + (1 - \xi_2) G_d \right] - K_p \right] \\ \frac{dX}{dt} = V_{kh} \\ \frac{dV}{dt} = \frac{\xi_4 p S - \xi_2 \Pi - \xi_2 R_v - \xi_2 P_c}{M_{kh}} \end{cases} \quad (1.1)$$

- Hệ phương trình nhiệt động buồng khí:

$$\begin{cases} \dot{\omega}_b = (G_n - G_{Ak}) \xi_\phi - \xi_5 G_{\Delta x} \\ \dot{W}_b = S_p V_b \xi_\phi \\ \dot{p}_b = \frac{1}{W_b} \left[k_p G_n - k_{pb} (G_{Ak} + \xi_5 G_{\Delta x}) - k_{tb} p_b - k_{pb} \dot{W}_b \right] \xi_\phi \end{cases} \quad (1.2)$$

Trong đó:

- z: Bề dày cháy thuốc phóng;
- ψ : Tốc độ cháy của thuốc phóng;
- v: Vận tốc đầu đạn;
- l: Quãng đường đạn chạy trong nòng;
- W: Thể tích buồng đốt;
- W_b : Thể tích buồng khí;
- ξ : Các biến điều khiển;
- $G_{\Delta k}$: Lưu lượng khí thuốc chảy từ buồng khí qua khe hở ra ngoài;
- p: Áp suất khí thuốc trong lòng nòng;
- V_{kh} : Vận tốc khóa nòng;
- X: Hành trình khóa nòng;
- ω_b : Trọng lượng khí thuốc trong buồng khí;

- p_b : Áp suất khí thuốc trong buồng khí;
- S_p : Diện tích piston;
- G_n : Lưu lượng khí thuốc chảy từ nòng vào buồng khí;
- $G_{\Delta x}$: Lưu lượng khí thuốc chảy qua các lỗ xả khí.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

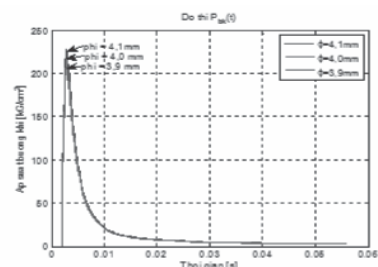
Sử dụng phương pháp tích phân số trên phần mềm MATLAB 2011b để giải hệ phương trình 1.1 và 1.2. Với các thông số đầu vào của đạn 12,7×108mm, thông số kết cấu của máy 12,7mm SM12,7-K và tham khảo [1], [2], ta thu được các kết quả như sau:

Bảng 1. Các thông số cơ bản tính toán áp suất buồng khí và động lực học máy tự động

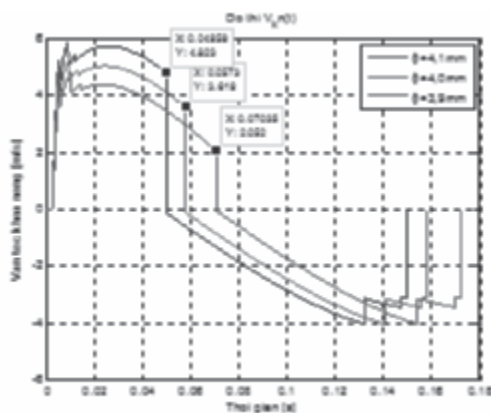
TT	Tên thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều dài nòng súng	L_0	dm	9,88
2	Chiều khương tuyến	L_{kt}	dm	5,36
3	Khối lượng của cụm khóa nòng	m_{KN}	kg	2,08
4	Khối lượng của lò xo đẩy về	m_{lxdv}	kg	0,25
5	Khối lượng của vỏ đạn	m_{VD}	kg	0,007
6	Khối lượng của viên đạn	m_D	kg	0,028
7	Độ cứng của lò xo đẩy về	C_{DV}	kG/m	3,9
8	Lực nén sơ bộ của lò xo đẩy về	Π_{DV0}	kG	7,28
9	Diện tích bề mặt trong ban đầu của buồng đạn	F_{bd}	dm ²	0,6503
10	Đường kính lỗ trích khí	ϕ	dm	0,04
11	Đường kính lỗ điều chỉnh to	ϕ_{dc1}	dm	0,04
12	Đường kính lỗ điều chỉnh nhỏ	ϕ_{dc2}	dm	0,03
13	Vị trí lỗ trích khí đến đầu khương tuyến	L_ϕ	dm	4,72
14	Thể tích ban đầu của buồng khí	W_{bk}	dm ³	0,0135
15	Diện tích piston	S_p	dm ²	0,031
16	Thể tích buồng đốt	W	dm ³	0,0204

3.1. Kết quả giải bài toán áp suất buồng khí

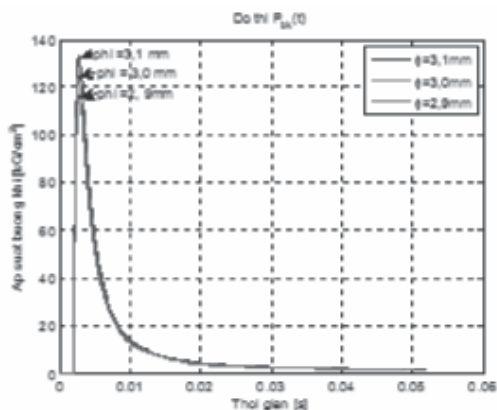
- Tiến hành tính toán với diện tích lỗ trích khí lớn trên khâu điều chỉnh của súng $\phi = 4,0\text{mm}$ và lỗ nhỏ $\phi = 3,0\text{mm}$. Sau đó thay đổi giá trị của ϕ một lượng (0,1mm) tương đương với các giá trị dung sai khi chế tạo và chiều dày lớp muội thuốc có thể bám trên bề mặt lỗ.



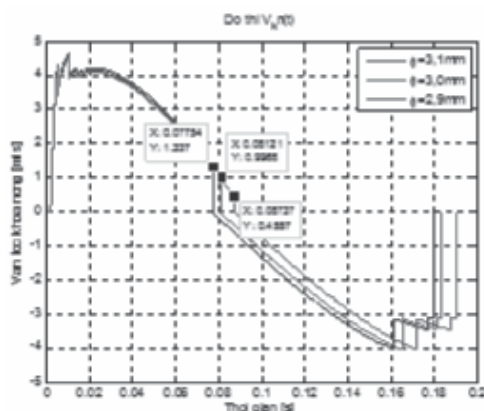
Hình 3. Đồ thị biến thiên áp suất buồng khí khi diện tích lỗ trích khí $\phi = 4,0\text{ mm}$



Hình 4. Đồ thị biến thiên vận tốc khóa nòng khi thay đổi lỗ trích khí $\phi = 4,0 \text{ mm}$



Hình 5. Đồ thị biến thiên áp suất buồng khí khi diện tích lỗ trích khí $\phi = 3,0 \text{ mm}$



Hình 6. Đồ thị biến thiên vận tốc khóa nòng khi thay đổi lỗ trích khí $\phi = 3,0 \text{ mm}$

*Nhận xét kết quả tính toán:

Kết quả tính toán cho thấy quy luật ảnh hưởng của diện tích lỗ trích khí đến áp suất khí thuốc trong buồng khí và vận tốc khóa. Khi đường kính lỗ trích khí thay đổi tăng hoặc giảm 0,1mm thì vận tốc khóa nòng cũng tăng hoặc giảm một giá trị trung bình $\sim 1\text{m/s}$. Tuy nhiên, theo tính toán ở trên khi đường kính lỗ trích khí là 2,9mm thì tốc độ va chạm sau cùng chỉ còn 0,4557m/s, đây là vận tốc rất nhỏ đối với máy tự động của súng 12,7mm. Nếu diện tích giảm xuống dưới 2,9mm thì khóa nòng sẽ không có va chạm sau cùng, dẫn đến máy tự động hoạt động không đầy đủ chức năng. Vì vậy, để đảm bảo máy tự động hoạt động tin cậy, diện tích lỗ trích khí cần lớn hơn 3,0mm.

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả tính toán bài toán nhiệt động buồng khí và động lực học máy tự động ở trên có thể khẳng định các thông số kết cấu các lỗ trích khí của súng là hợp lý. Bài toán này có thể làm cơ sở cho việc nghiên cứu khảo sát thay đổi diện tích lỗ trích khí của súng phù hợp với quá trình sản xuất cũng như phù hợp với điều kiện con người và khí hậu nước ta. ❖

Ngày nhận bài: 18/9/2025

Ngày phản biện: 29/9/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ, “*Thuật phóng trong của súng pháo*”. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 1976.
- [2]. Phạm Huy Chương, “*Động lực học vũ khí tự động*”. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2002.

MÔ PHÒNG HÀN NỐI ỐNG THÉP CÁC BON TRUNG BÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

SIMULATION OF WELDING MEDIUM TWO STEEL PIPES BY FINITE ELEMENT METHOD

Nguyễn Hồng Thanh*, Nguyễn Thị My, Bùi Thị Tuyết Nhung

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

*Email: thanh.we@gmail.com

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, phương pháp hàn hồ que hàn thuốc bọc (SMAW) dần được thay thế bằng phương pháp hàn CO_2 để chế tạo kết cấu thép, ngành công nghiệp ô tô, đóng tàu,... nhờ chất lượng mối hàn cao hơn, năng suất lớn và có thể tự động hóa. Tuy nhiên, hiện tượng tập trung ứng suất và biến dạng sau hàn vẫn là các vấn đề quan trọng cần được nghiên cứu. Bài báo này sử dụng phần mềm Sysweld để mô phỏng, dự đoán và đánh giá biến dạng cùng phân bố ứng suất dư khi hàn giáp mối hai ống thép các-bon trung bình EN 10025-2 (đường kính trong 200 mm, chiều dày thành ống 6 mm, tổng chiều dài mối nối 230 mm). Kết quả mô phỏng về ứng suất dư và biến dạng được tổng hợp, so sánh và thảo luận nhằm làm rõ quy luật phân bố ứng suất và biến dạng, đồng thời cung cấp cơ sở dữ liệu để tham khảo cho các trường hợp hàn tương tự.

Từ khoá: Thép EN 10025-2; Biến dạng; Ứng suất dư; Hàn nối ống.

ABSTRACT

In recent years, shielded metal arc welding (SMAW) has increasingly been replaced by CO_2 gas metal arc welding (GMAW) in the fabrication of steel structures, automotive, and shipbuilding industries due to improved weld quality, higher productivity, and automation potential. However, stress concentration and post-weld distortion remain critical challenges. This study employs Sysweld to simulate, predict, and evaluate distortion and residual stress distribution in a butt-welded joint of two medium-carbon steel tubes (EN 10025-2) with an inner diameter of 200 mm, wall thickness of 6 mm, and a joint length of 230 mm. The simulation results on residual stresses and distortions are compiled, compared, and analyzed to clarify their distribution patterns, thereby providing a reference database for similar welding cases.

Keywords: EN 10025-2 steel; Distortion; Residual stresses; Welded joint of pipes.

1. GIỚI THIỆU

Biến dạng hàn là một trong những nguyên nhân gây nên hiện tượng sai lệch khi lắp ghép. Điều này sẽ làm giảm khả năng chịu tải của kết cấu, đặc biệt là làm việc trong điều

kiện tải trọng biến đổi. Chính vì điều này, kết cấu hàn sẽ dẫn đến khả năng phá hủy sớm theo thời gian.

Dưới sự phát triển của ngành khoa học máy tính kỹ thuật mô phỏng số để dự đoán

trường nhiệt độ, ứng suất dư và biến dạng hàn được sử dụng từ rất lâu. Việc làm này là rất cần thiết để từ đó có thể dự đoán thời gian làm việc của kết cấu hàn cũng như khoanh vùng những khu vực tập trung ứng suất cao và có khả năng nứt gãy do mỏi trong quá trình làm việc. Qua mô phỏng số, mà số lượng mẫu thực nghiệm được giảm xuống một cách đáng kể [1].

2. THÔNG SỐ VẬT LIỆU

Cơ tính và thành phần hóa học của thép EN 10025-2 [2] được cho trong bảng 1 và 2.

Bảng 1. Cơ tính

Đặc tính	Giá trị
Mô đun Young (GPa)	210
Giới hạn chảy (MPa)	355 min
Hệ số Poisson	0,29
Điểm nóng chảy (°C)	1450
Điểm đông đặc (°C)	1400

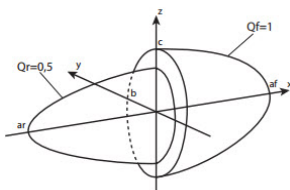
Bảng 2. Thành phần hoá học

C	Si	Mn	P	S
0,15	0,12~0,3	0,25~0,50	0,04	0,045

3. KỸ THUẬT MÔ PHỎNG

3.1. Mô hình nguồn nhiệt

Goldak và cộng sự [3] đã đưa ra mô hình nguồn nhiệt hàn CO₂ có mật độ phân bố ellipsoid kép, hình 1.



Hình 1. Mô hình nguồn nhiệt hàn

3.2. Mô hình truyền nhiệt

Công thức 1 là mô hình truyền nhiệt 3 chiều (3D). Sự thất thoát nhiệt ra môi trường xung quanh theo công thức 2 [1].

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + k \frac{\partial Q}{\partial x^2} = \rho C k \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$h(T - T_0) + \beta \in (T^4 - T_0^4) = q_s \quad (2)$$

Q là năng lượng đường (J/mm), q_s là lượng nhiệt thất thoát, T là nhiệt độ nóng chảy, T₀ là nhiệt độ ban đầu, t là thời gian (s). Ở trạng thái giả ổn định, công thức 1 có thể được biểu diễn lại theo công thức 3:

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - v \frac{\partial Q}{\partial x^2} = -V_h \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

V_h là tốc độ hàn (mm/s).

3.3. Mô hình biến dạng

Quá trình mô phỏng các ứng suất thành phần theo 3 chiều (x,y,z) được thể hiện theo công thức 4.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (4)$$

Biến dạng tổng (ε) gồm: Biến dạng đàn hồi (ε^e), biến dạng dẻo (ε^p) và biến dạng nhiệt (εth) được xác định theo công thức 5.

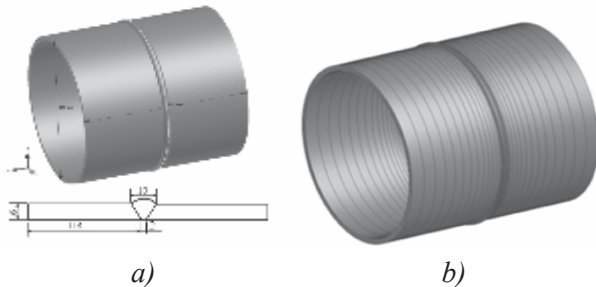
$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p + \varepsilon^{th} \quad (5)$$

Biến dạng đàn hồi được xác định theo định luật Hook [4], nhiệt độ phụ thuộc vào mô đun Young và hệ số Poisson (bảng 1).

3.4. Mô hình lưới

Mô hình mô phỏng có thể được thiết

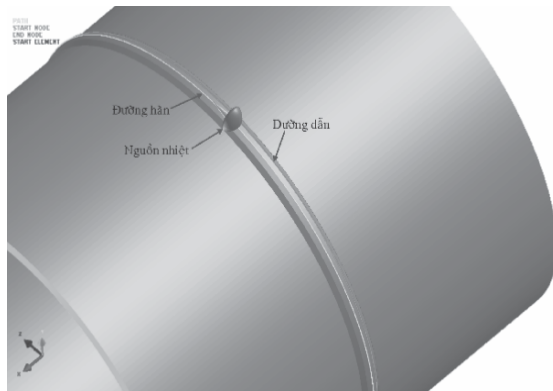
kế bằng phần mềm VisualMesh, hình 2a [5, 6]. Đường kính trong của ống 200mm, chiều dày thành ống là 6mm, tổng chiều dài mỗi ghép 230mm.



Hình 2. Mô hình liên kết hàn:
a) Mô hình mối ghép, b) Mô hình lưới

Mô hình được chia lưới trên Sysweld với 67.198 phần tử và 50.100 nút, hình 2b [6], lưới ở khu vực mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (AHN) được chia với kích thước nhỏ hơn vùng xa mối hàn.

Để nguồn nhiệt đi đúng quỹ đạo thì cần phải có đường dẫn như hình 3.

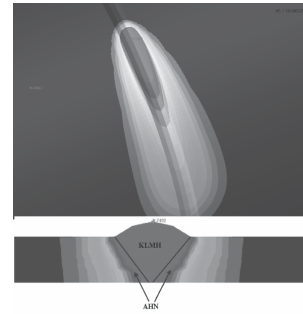


Hình 3. Đường hàn và đường dẫn

4. KẾT QUẢ

Khai báo thuộc tính của vật liệu, mô hình nguồn nhiệt, phương án kẹp chặt và các điều kiện biên. Giải bài toán, ta thu được kết quả:

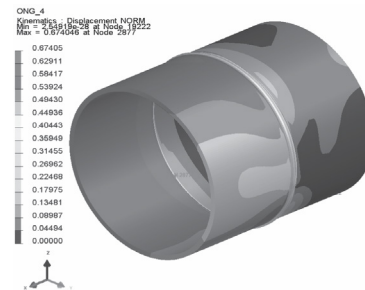
4.1. Trường nhiệt độ



Hình 4. Phân bố nhiệt độ khi hàn

Hình 4 cho biết kích thước bề hàn, vùng AHN, dựa vào hình ảnh phổ màu thấy rằng với năng lượng đường là 950J/mm là hoàn toàn phù hợp để hàn mỗi ghép nối ống có chiều dày là 6mm.

4.2. Biến dạng tổng



Hình 5. Biến dạng tổng

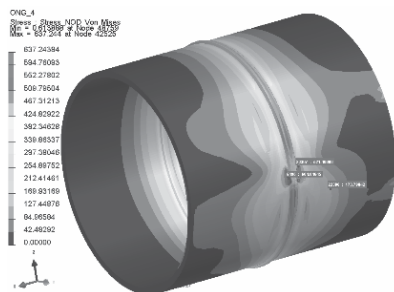
Dựa trên phổ màu ở hình 5, ta thấy biến dạng tổng khoảng 0,67mm và thuộc ống không bị kẹp trong quá trình hàn, theo tiêu chuẩn mức độ biến dạng không làm ảnh hưởng tới khả năng lắp ghép của kết cấu.

4.3. Trường ứng suất

4.3.1. Ứng suất Von mises

Trên hình 6, mô tả sự phân bố ứng suất Von mises của toàn liên kết, theo quan sát

phổ màu thấy ứng suất này có giá trị lớn nhất tại điểm bắt đầu và kết thúc đường hàn, vào khoảng 637MPa.

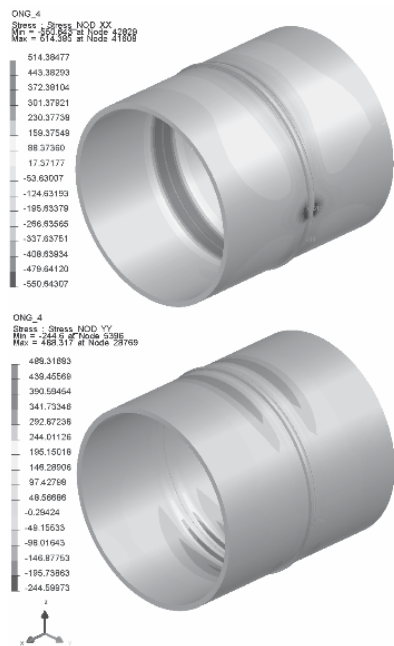


Hình 6. Ứng suất Von mises

Các vị trí lân cận ứng suất dư tương đối thấp từ 55 ÷ 382MPa.

4.3.2. Ứng suất pháp

Quan sát phổ màu, ta thấy rằng ứng suất dư phân bố tập trung ở đường hàn dưới thành ống khoảng 301MPa, còn trên bề mặt thành ống nhỏ hơn khoảng 89MPa, hình 7.



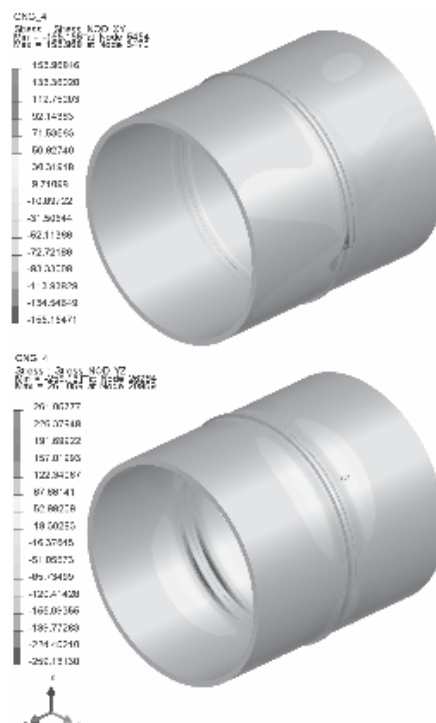
Hình 7. Ứng suất pháp:

a) Theo phương X; b) Theo phương Y

Theo phương X, ứng suất dư kéo mặt dưới của ống là tương đối cao và phân bố suất mặt dưới. Trong khi đó, theo phương Y, ứng suất dư tập trung một phần tại vùng AHN và vùng bắt đầu và kết thúc đường hàn.

4.3.3. Ứng suất tiếp

Dựa vào phổ màu nhận thấy rằng ứng suất tiếp, hình 8, theo phương X ứng suất dư kéo và nén là tương đối nhỏ (≈ 154 MPa).



Hình 8. Ứng suất tiếp:

a) Theo phương X; b) Theo phương Y

Theo phương Y ứng suất dư kéo (≈ 261 MPa) và nén (≈ 259 MPa) chênh lệch nhau không đáng kể, khoảng 2MPa.

5. KẾT LUẬN

Sử dụng kỹ thuật mô phỏng để dự đoán sự phân bố ứng suất và biến dạng của mẫu hàn, tác giả đã:

1) Tính toán, phân tích và dự đoán được sự phân bố ứng suất dư và biến dạng khi hàn nối hai ống thép các bon trung bình;

2) Từ các kết quả mô phỏng, có thể dự đoán được sự phân bố ứng suất dư tại bất kì vị trí nào trên mẫu hàn mà không cần đo trực tiếp;

3) Ứng suất dư pháp trên bề mặt ống là nhỏ nhất, tiếp theo là giữa ống và lớn nhất là phía dưới bề mặt ống;

4) Thông qua mô phỏng số mà ta có thể giảm số lượng mẫu thực nghiệm là ít nhất. Qua đó giảm giá thành sản phẩm, giảm ô nhiễm môi trường và đảm bảo sức khỏe của người lao động. ❖

Ngày nhận bài: **19/8/2025**

Ngày phản biện: **10/9/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Thế Ninh, “*Phân tích truyền nhiệt hàn và ứng dụng*”. NXB. Bách khoa Hà Nội (2011).
- [2]. “*Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels*”, BS EN 10025-2:2019.
- [3]. Goldak, J., Chakravarti, A., and Bibby, “*A new finite element model for welding heat source*”. Metallurgical Transactions B, 15B, 299-305 (1984).
- [4]. Đỗ Kiến Quốc và cộng sự, “*Sức bền vật liệu*”. Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (2015).
- [5]. Nguyễn Hồng Thanh, Hoàng Trọng Ánh, Hà Xuân Hùng, Nguyễn Tiến Dương, “*Dự đoán sự phân bố ứng suất dư và biến dạng khi hàn ống thép không gỉ 316L bằng phần mềm Sysweld*”. Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ V – VCME (2018).
- [6]. ESI Group, 99 Rue Des, Solets Silic 112 94513 Rungis Cedex FRANCE.
- [7]. AWS D1.1, “*Structural Welding Code – Steel*”. An American National Standard (2010).

ĐỘNG LỰC HỌC CỤM TRỐNG LĂN THIẾT BỊ THI CÔNG MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG

DYNAMIC OF ROLLING DRUM CLUSTER CEMENT CONCRETE PAVEMENT
CONSTRUCTION EQUIPMENT

PGS,TS. **Trần Quang Hùng**¹, PGS,TS. **Lưu Đức Thạch**², ThS. **Đỗ Gia Cường**^{3,*}

¹Trường Đại học Thành Đô

²Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³Viện Kỹ thuật Cơ giới quân sự, Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật

*Email: cuongvcg2022@gmail.com

TÓM TẮT

Cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng (BTXM) là cụm thiết bị quan trọng nhất đảm bảo chất lượng của bề mặt BTXM về độ phẳng, độ nhẵn và độ bền mặt đường. Vấn đề nghiên cứu động lực học (DLH) cụm trống lăn là rất cần thiết nhằm hỗ trợ quá trình thiết kế, giúp cho việc khai thác, sử dụng và vận hành thiết bị hiệu quả, là cơ sở để tự động hóa quá trình làm việc của thiết bị cũng như xác định các thông số làm việc hợp lý của cụm trống lăn trong điều kiện thi công thực tế ở Việt Nam. Từ việc nghiên cứu xây mô hình DLH của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM có xét đến hệ cơ khí – thủy lực được trình bày trong [1], bài báo này tập trung nghiên cứu khảo sát ứng xử động lực học của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM có xét đến hệ cơ khí – thủy lực làm cơ sở cho việc xác định giá trị hợp lý của các thông số làm việc của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM.

Từ khóa: Trống lăn; Động lực học trống lăn; Mô phỏng đồng thời cơ – thủy lực.

ABSTRACT

The roller assembly of cement concrete pavement construction equipment is the most important equipment assembly to ensure the quality of the cement concrete surface in terms of flatness, smoothness and durability of the pavement. The study of the dynamics of the roller assembly is very necessary to support the design process, help exploit, use and operate the equipment effectively, is the basis for automating the working process of the equipment as well as determining the reasonable working parameters of the roller assembly in actual construction conditions in Vietnam. From the research on the dynamic model of the roller assembly of cement concrete pavement construction equipment considering the mechanical - hydraulic system presented in [1], this paper focuses on the study and survey of the dynamic behavior of the roller assembly of cement concrete pavement construction equipment considering the mechanical - hydraulic system as the basis for determining the reasonable values of the working parameters of the roller assembly of cement concrete pavement construction equipment.

Keywords: Control; Inverted pendulum – cart; Hedge Algebras.

1. GIỚI THIỆU

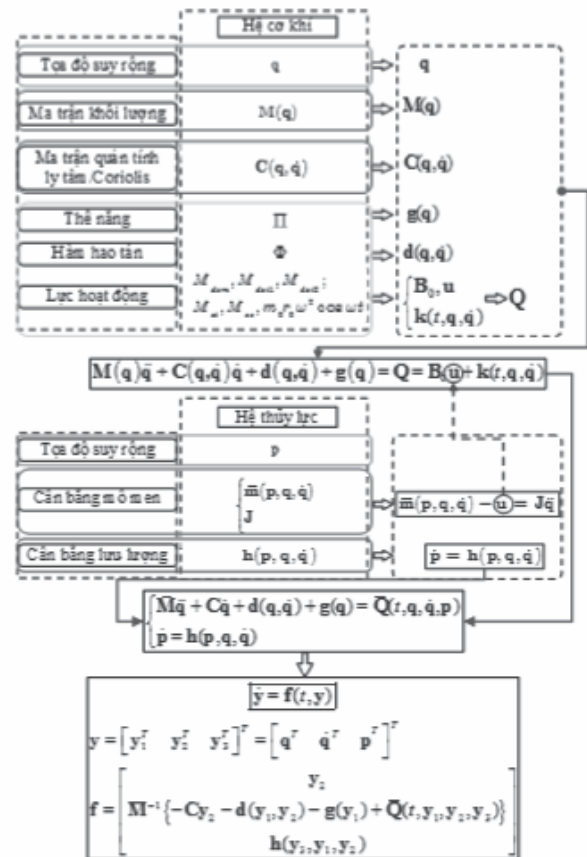
Cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng (BTXM) là cụm thiết bị quan trọng nhất đảm bảo chất lượng của bề mặt BTXM về độ phẳng, độ nhẵn và độ bền mặt đường. Do đặc điểm di chuyển ngang của cụm trống lăn là làm việc theo chu kỳ luân phiên ở các thời kỳ tăng tốc, chuyển động bình ổn và dừng nghỉ ngắn hạn nên các thông số đặc trưng cho chế độ làm việc của bộ công tác cũng luôn thay đổi và ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của cụm trống lăn. Mặt khác, hệ truyền động xe con và trống lăn là hệ truyền động thủy lực kết hợp với bộ truyền xích nên trong quá trình làm việc, muốn thay đổi vận tốc di chuyển xe con và vận tốc góc trống lăn cho phù hợp với chế độ thi công, thì cần điều chỉnh các van tiết lưu trong HTTL. Vì vậy, việc nghiên cứu ĐLH hệ cơ khí – thủy lực của cụm trống lăn là rất cần thiết nhằm hỗ trợ quá trình thiết kế, giúp cho việc khai thác, sử dụng và vận hành thiết bị hiệu quả, là cơ sở để tự động hóa quá trình làm việc của thiết bị cũng như xác định các thông số làm việc hợp lý của cụm trống lăn trong điều kiện thi công thực tế ở Việt Nam.

Ngoài ra, khả năng làm phẳng của trống lăn được đánh giá thông qua thông số “S” [4]. Do đó, từ việc nghiên cứu xác định các thông số ĐLH, bài báo sẽ tiến hành khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến chế độ làm phẳng mặt đường BTXM của trống lăn, để làm cơ sở cho việc nghiên cứu xác định các thông số làm việc hợp lý của cụm trống lăn.

2. MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC HỆ CƠ KHÍ - THỦY LỰC

Trong nghiên cứu [1], tác giả đã xây dựng được mô hình và đưa ra được hệ phương trình vi phân hỗn hợp cơ khí – thủy lực mô tả ĐLH quá trình làm việc của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM. Sơ đồ khối các bước thiết lập hệ phương trình được thể hiện trên Hình 1.

Khi đó, có thể sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng ĐLH hệ cơ khí – thủy lực của cụm trống lăn. Các nội dung tính toán mô phỏng động lực học hệ cơ khí – thủy lực được thể hiện dưới đây.



Hình 1. Sơ đồ khối các bước thiết lập hệ phương trình vi phân hệ cơ khí – thủy lực

Các tham số đầu vào gồm 4 nhóm: Các thông số kích thước hình học; Các đặc trưng động lực học (Khối lượng, mô men quán tính khối lượng các cụm, hệ số cản, độ cứng); Phản lực và mô men cản; Các thông số của hệ thống TĐTL.

Kết quả tính toán động lực học hệ cơ khí – thủy lực của cụm trống lăn gồm: áp suất dầu trong khoang cao áp của các động cơ thủy lực; vận tốc, gia tốc của các động cơ thủy lực, trống lăn và xe con; các thông số động lực học của đầm dùi. Tuy nhiên, với mục đích nghiên cứu ĐLH hệ

cơ khí - thủy lực để làm cơ sở cho việc xác định giá trị hợp lý của các thông số làm việc cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng và so sánh với kết quả đo thực nghiệm, nên trong bài báo này trình bày các kết quả tính toán sau: Áp suất của động cơ thủy lực dẫn động xe con, áp suất của động cơ thủy lực dẫn động trống lăn dùng để so sánh với kết quả đo thực nghiệm; Vận tốc và gia tốc của xe con, vận tốc và gia tốc góc của trống lăn để khảo sát, đánh giá chất lượng làm phẳng của cụm trống lăn, làm cơ sở cho việc xác định giá trị hợp lý của các thông số làm việc cụm trống lăn.

Qua các kết quả mô phỏng số được thể hiện trên Hình 2-5 có thể thấy rằng: Các thông số ĐLH thay đổi nhiều trong giai đoạn khởi động, sau đó bình ổn xung quanh giá trị trung bình của nó, cụ thể như sau:

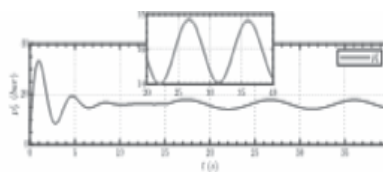
- Áp suất trong mạch cao áp thay đổi nhiều trong thời gian khởi động và giá trị lớn nhất, cụ thể: Áp suất động là 33,4 bar, áp suất bình ổn là 15,5 bar.

- Vận tốc và gia tốc góc của động cơ thủy lực dẫn động xe con thay đổi theo thời gian. Tốc độ vòng quay đạt giá trị lớn nhất 166,2 vòng/phút tại thời điểm 1,2 s khi khởi động và đạt giá trị trung bình 145 vòng/phút.

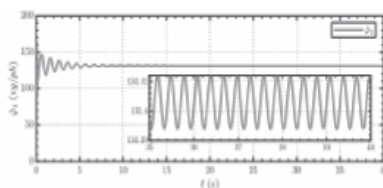
- Vận tốc và gia tốc của xe con thay đổi theo thời gian. Vận tốc xe con tăng từ 0 m/s đến vận tốc lớn nhất 0,8 m/s tại thời điểm 1,8 s khi khởi động và đạt giá trị trung bình 0,525 m/s.

- Áp suất trong mạch cao áp thay đổi nhiều trong thời gian khởi động và đạt giá trị lớn nhất: áp suất động là 43 bar, áp suất bình ổn là 35 bar.

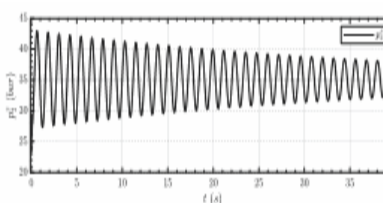
- Tốc độ quay và gia tốc góc của trống lăn trước thay đổi theo thời gian. Tốc độ vòng quay đạt giá trị lớn nhất 250 vòng/phút tại thời điểm 0,8 s khi khởi động và đạt giá trị trung bình 245 vòng/phút.



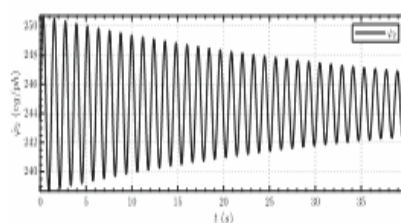
Hình 2. Áp suất dầu trong khoang cao áp của động cơ thủy lực dẫn động xe con



Hình 3. Vận tốc góc của động cơ thủy lực dẫn động



Hình 4. Áp suất dầu trong khoang cao áp của động cơ thủy lực dẫn động trống lăn



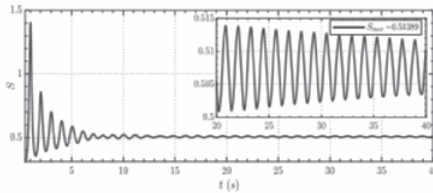
Hình 5. Vận tốc góc của trống lăn

Khả năng làm phẳng của trống lăn được đánh giá thông qua thông số “S” [4, 5], và được xác định như sau [5]:

$$S = \frac{\sqrt{v^2 + v_B^2 + 2vv_B \cos \beta} \cdot \sqrt{Dh} \cdot \sqrt{1 - h/D}}{v \cos \beta} \quad (3)$$

Với: R - Bán kính của trống lăn, m; h - Chiều cao san, m; v_B - Vận tốc của điểm trên chu vi trống lăn, $v_B = \omega_B \cdot R$; ω_B - Vận tốc góc của trống lăn, rad/s.

- Từ kết quả tính toán các thông số ĐLH của cụm trống lăn, áp dụng công thức (3), ta có đồ thị thông số “S” theo thời gian được thể hiện trên Hình 6. Qua đồ thị thấy rằng, ở giai đoạn khởi động, thông số “S” tăng dần đến $S_{\max} = 1,4$ m sau đó đạt giá trị trung bình ổn định $S = 0,508$ m. Như vậy, nếu vận tốc xe con và vận tốc góc của trống lăn không đều thì độ nhám bề mặt đường BTXM không đồng đều.



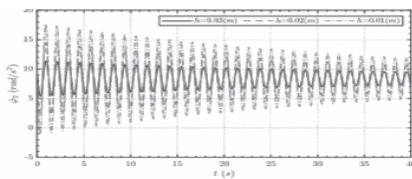
Hình 6. Đồ thị sự thay đổi của thông số “S” theo thời gian

3. KHẢO SÁT CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRỐNG LĂN

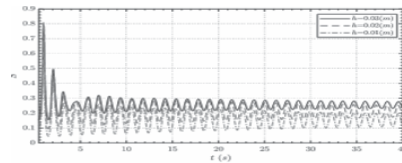
Để khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến chế độ làm phẳng mặt đường BTXM, bài báo sử dụng mô hình ĐLH đã được xây dựng và tính toán xác định thông số “S” để đánh giá khả năng làm phẳng của trống lăn. Trong phạm vi của bài báo, tác giả trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của các thông số: chiều cao san, độ mở van tiết lưu, đường kính trống lăn đến chế độ làm phẳng của trống lăn.

3.1. Khảo sát ảnh hưởng của chiều cao san đến chế độ làm việc của trống lăn

Thay đổi chiều cao san ($h = 0,01$ m; $0,02$ m; $0,03$ m) còn các thông số khác trong chương trình vẫn giữ nguyên.



Hình 7. Sự thay đổi vận tốc góc của trống lăn trước theo chiều cao san h



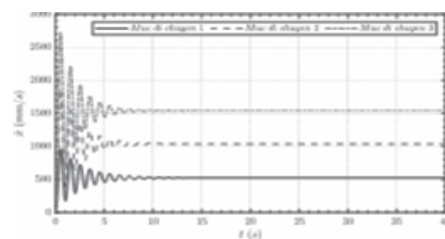
Hình 8. Sự thay đổi thông số “S” theo chiều cao san h

Với các giá trị trên Hình 7 có thể thấy rằng, khi thay đổi chiều cao san thì các thông số ĐLH của trống lăn thay đổi nhiều nhất. Cụ thể, khi chiều cao san tăng thì vận tốc góc của trống lăn giảm. Ngoài ra, khi chiều cao san càng lớn thì thông số “S” càng lớn (Hình 8).

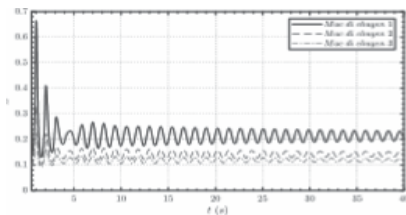
3.2. Khảo sát ảnh hưởng của độ mở van tiết lưu điều khiển tốc độ xe con đến chế độ làm việc của trống lăn

Thực hiện chạy chương trình mô phỏng với thông số đầu vào coi như không đổi, nhưng thay đổi độ mở của van tiết lưu để thay đổi vận tốc di chuyển xe con.

Qua đồ thị, ta thấy khi tăng tốc độ di chuyển của xe con, thì thông số “S” giảm. Như vậy, khi muốn tăng tốc độ của xe con để tăng năng suất thì độ nhám mặt đường tăng. Ngoài ra, khi xét trong một lần di chuyển của xe con thấy rằng, vận tốc xe con sẽ quyết định thời gian duy trì tác dụng của đầm dùi tại một điểm. Khi vận tốc xe con tăng, thì thời gian duy trì tác dụng đầm dùi tại một vị trí sẽ giảm. Do đó, cần lựa chọn tốc độ di chuyển của xe con hợp lý để vừa đảm bảo chất lượng mặt đường (độ bền và độ nhám) vừa đảm bảo năng suất thi công.



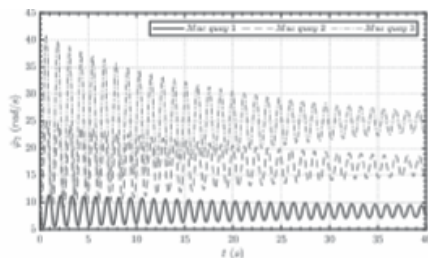
Hình 9. Sự thay đổi vận tốc di chuyển xe con theo độ mở của van tiết lưu



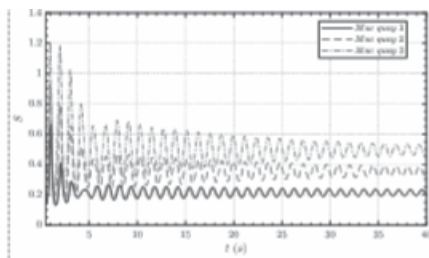
Hình 10. Sự thay đổi thông số “S” theo độ mở của van tiết lưu

3.3. Khảo sát ảnh hưởng của độ mở van tiết lưu điều khiển tốc độ quay trống lăn đến chế độ làm việc của trống lăn

Thực hiện chạy chương trình mô phỏng với thông số đầu vào coi như không đổi, nhưng thay đổi độ mở của van tiết lưu để thay đổi vận tốc di chuyển xe con.



Hình 11. Sự thay đổi vận tốc di chuyển xe con theo độ mở của van tiết lưu



Hình 12. Sự thay đổi thông số “S” theo độ mở của van tiết lưu

Qua đồ thị thấy rằng khi tăng vận tốc góc của trống lăn bằng cách điều chỉnh độ mở của van tiết lưu, thì thông số “S” tăng. Điều này chứng tỏ, khi vận tốc góc của trống lăn tăng thì độ nhám mặt đường giảm. Tuy nhiên, do vít san đồng tốc với trống lăn nên vận tốc góc của trống lăn quá

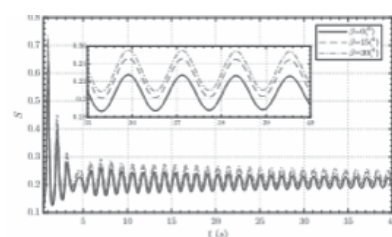
cao sẽ ảnh hưởng đến khả năng san hỗn hợp bê tông của vít san. Do đó, cần lựa chọn vận tốc góc của trống lăn hợp lý để vừa đảm bảo độ nhám mặt đường, vừa đảm bảo khả năng làm việc của vít san cũng như phù hợp với công suất của máy.

3.4. Khảo sát ảnh hưởng của đường kính trống lăn và góc nghiêng san đến chế độ làm việc của trống lăn

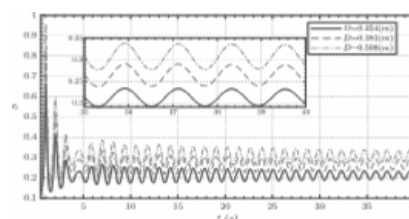
Lần lượt thay đổi: góc nghiêng san ($\beta = 0^\circ; 15^\circ; 30^\circ$); đường kính trống lăn ($D = 0,254 \text{ m}; 0,381 \text{ m}; 0,508 \text{ m}$).

Theo kết quả tính toán Hình 13, khi β tăng thì S tăng. Như vậy, nếu β tăng thì độ nhám sẽ giảm. Tuy nhiên, nếu β quá lớn thì chiều rộng vệt san sẽ nhỏ và kéo theo năng suất san phẳng nhỏ. Qua khảo sát các máy thi công bề mặt BT bằng trống lăn và tham khảo máy Gomaco C-650, lựa chọn $\beta = 15^\circ$.

Theo kết quả tính toán Hình 14, khi D tăng thì S tăng. Như vậy, nếu D tăng thì độ nhám sẽ giảm, tuy nhiên nếu D quá lớn thì khối lượng trống lăn và máy tăng lên, kéo theo đó là công suất dẫn động trống lăn tăng lên. Qua khảo sát các máy thi công bề mặt BT bằng trống lăn và tham khảo máy Gomaco C-650, lựa chọn $D = 254 \text{ mm}$.



Hình 13. Sự thay đổi thông số “S” theo góc β



Hình 14. Sự thay đổi thông số “S” theo D

4. KẾT LUẬN

Báo cáo này trình bày về kết quả mô phỏng và khảo sát một số thông số động lực học của cụm trống lăn khi làm việc. Kết quả tính toán đã mô tả được các đặc tính làm việc của cụm trống lăn, cho thấy mô hình đã được thiết lập và việc lựa chọn phương pháp giải là hợp lý và khả thi. So với các mô phỏng cơ học và thủy lực đơn lẻ, quá trình mô phỏng hệ hỗn hợp sẽ được ra các thông số trực quan và linh hoạt hơn, đồng thời kết quả mô phỏng hợp lý và đáng tin cậy hơn. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến chế độ làm việc của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM, thấy rằng khả năng làm phẳng mặt đường BTXM của trống lăn phụ thuộc chủ yếu vào vận tốc di chuyển xe con và vận tốc góc của trống lăn. Các kết quả của nghiên cứu này có thể cung cấp tài liệu tham khảo cho thiết kế kết cấu, khai thác sử dụng máy có hiệu quả. Ngoài ra, có thể làm cơ sở cơ sở để xác định các thông số làm việc hợp lý của cụm trống lăn trong điều kiện thi công thực tế ở Việt Nam.

Hướng phát triển tiếp theo của bài báo là xây dựng được bài toán tối ưu để xác định các thông số hợp lý của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường BTXM với chỉ tiêu chi phí năng lượng nhỏ nhất đáp ứng được chất lượng mặt đường BTXM theo thiết kế. ❖

Ngày nhận bài: **15/9/2025**

Ngày phản biện: **01/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đỗ Gia Cường, Trần Quang Hùng, Lưu Đức Thạch (2024), “Nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học hệ cơ khí – thủy lực của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam (ISSN 2615 - 9910), Số 314 – 4/2024.
- [2]. Đỗ Gia Cường, Trần Quang Hùng, Lưu Đức Thạch (2021), “Nghiên cứu cơ sở thiết kế trống lăn hoàn thiện bề mặt bê tông xi măng”. Tạp chí

- Khoa học Công nghệ Hàng Hải, (ISSN 1859 – 316X), Số Đặc biệt – 10/2021, tr.288-293.
- [3]. Trần Quang Hùng, Lưu Đức Thạch, Đỗ Gia Cường (2024), “*Kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định một số thông số động lực học của cụm trống lăn thiết bị thi công mặt đường bê tông xi măng*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam (ISSN 2615 - 9910), Số 314 – 4/2024.
- [4]. Болотный А.В. (1979), “*Заглаживание бетонных поверхностей*”. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 128 с.
- [5]. Мамаев Л.А. (2007), “*Методология совершенствования теории взаимодействия рабочих органов бетоноотделочных машин с поверхностью обрабатываемых сред: дис.* д-ра техн. наук / Л.А. Мамаев. -СПб.: СПбГАСУ.-360 с.
- [6]. Ловейкін В.С., Почка К. І., Пристайло М.О., Балака М. М., Почка О.Б. (2021), “*Вплив кута зміщення кривошипів на нерівномірність руху роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом*”. Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. зб. – Вип. 106. – С. 141-155.

SIMULTANEOUS OPTIMIZATION OF MATERIAL REMOVAL RATE AND SURFACE ROUGHNESS IN ULTRASONIC VIBRATION-ASSISTED EDM OF HARDOX 500 USING NSGA-II AND MABAC

TỐI ƯU HÓA ĐỒNG THỜI NĂNG SUẤT BÓC TÁCH VẬT LIỆU VÀ ĐỘ NHÁM BỀ MẶT TRONG GIA CÔNG TIA LỬA ĐIỆN CÓ HỖ TRỢ RUNG ĐỘNG SIÊU ÂM TRÊN THÉP HARDOX 500 BẰNG PHƯƠNG PHÁP NSGA-II VÀ MABAC

Tran Huu Danh¹, Nguyen Cong Danh², Mai Tat Loi³, Vu Ngoc Pi⁴, Nguyen Manh Cuong^{4,*}

¹Vinh Long University of Technology Education (Long Chau ward, Vinh Long province)

²Vinh Long Vocational College (Phu Quoi commune, Vinh Long province)

³Vinh University of Technology Education (Truong Vinh ward, Nghe An province)

⁴Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen University

*Email: nmcuong@tnut.edu.vn

ABSTRACT

In this study, a multi-objective optimization framework is proposed for ultrasonic vibration-assisted electrical discharge machining (UV-EDM) of HARDOX 500 steel. The main objectives are to simultaneously maximize the material removal rate (MRR) and minimize the surface roughness (Ra), which represent productivity and surface quality, respectively. Experimental data were modeled using Gaussian process regression (GPR), and the optimization problem was solved with the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) to generate a Pareto front of trade-off solutions. To support decision-making, the Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) method was applied to select the most balanced solution from the Pareto set. The results demonstrate that the proposed NSGA-II–MABAC hybrid approach effectively identifies optimal machining parameters, providing a favorable compromise between high MRR and low Ra. The evolution of Pareto fronts across generations confirmed the convergence behavior of NSGA-II, while the knee-point analysis further validated the trade-off characteristics. This integrated framework offers a robust methodology for achieving simultaneous productivity and surface integrity in ultrasonic-assisted EDM of hard-to-machine materials such as HARDOX 500, and it can be extended to other advanced machining processes.

Keywords: Ultrasonic vibration-assisted EDM; HARDOX 500 steel; Multi-objective optimization; Material removal rate (MRR); Surface roughness (Ra); NSGA-II; MABAC.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một khung tối ưu hóa đa mục tiêu cho quá trình gia công tia lửa điện vật liệu thép HARDOX 500 có hỗ trợ rung động siêu âm (UV-EDM). Các mục tiêu chính là đồng thời tối đa hóa năng suất bóc tách vật liệu (MRR) và tối thiểu hóa độ nhám bề mặt (Ra), đại diện

lần lượt cho năng suất và chất lượng bề mặt. Dữ liệu thực nghiệm được mô hình hóa bằng Gaussian Process Regression (GPR), và bài toán tối ưu được giải bằng giải thuật di truyền phân loại không trội NSGA-II để xây dựng biên Pareto các nghiệm đánh đổi. Để hỗ trợ ra quyết định, phương pháp MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) được áp dụng nhằm chọn ra nghiệm cân bằng nhất từ tập Pareto. Kết quả cho thấy cách tiếp cận lai NSGA-II-MABAC đề xuất đã xác định hiệu quả các thông số gia công tối ưu, mang lại sự thỏa hiệp hợp lý giữa MRR cao và Ra thấp. Quá trình tiến hóa các biên Pareto qua các thế hệ khẳng định khả năng hội tụ của NSGA-II, đồng thời phân tích điểm gối (knee-point) xác nhận rõ ràng đặc trưng đánh đổi. Khung tích hợp này cung cấp một phương pháp tiếp cận mạnh mẽ để đạt đồng thời năng suất và chất lượng bề mặt trong EDM có hỗ trợ siêu âm trên vật liệu khó gia công như HARDOX 500, và có thể mở rộng cho các quá trình gia công tiên tiến khác.

Từ khóa: Gia công tia lửa điện có hỗ trợ rung động siêu âm; Thép HARDOX 500; Tối ưu hóa đa mục tiêu; Năng suất bóc tách vật liệu (MRR); Độ nhám bề mặt (Ra); NSGA-II; MABAC.

1. INTRODUCTION

Electrical discharge machining (EDM) has been widely applied for machining difficult-to-cut materials, yet its performance is often constrained by issues of low material removal rate (MRR), poor surface integrity, and inefficient debris evacuation. To overcome these limitations, UV-EDM has been extensively explored, as the introduction of ultrasonic vibration can enhance debris removal, improve flushing efficiency, and stabilize the discharge process. For instance, Wang et al. [1] demonstrated that the use of longitudinal and torsional ultrasonic vibrations in deep-hole EDM effectively suppressed taper formation and enhanced debris motion. Similarly, Zhang et al. [2] clarified the mechanisms of debris removal during ultrasonic EDM drilling, showing improved machining stability compared to conventional EDM. Yin et al. [3] proposed a novel EDM method using longitudinal-torsional vibration electrodes for micro-holes, reporting substantial improvements in machining quality and efficiency.

At the micro-scale, Chenxue et al. [4] investigated bubble behavior under ultrasonic

vibration in EDM, confirming the role of cavitation in stabilizing discharges. Li et al. [5] explored two-dimensional ultrasonic circular vibration (UCV) electrodes for micro-EDM and revealed better surface integrity, while Li et al. [6] earlier established that UCV electrodes can significantly improve micro-hole machining performances. Lei et al. [7] extended the concept by applying laminated electrodes in UV-EDM of enclosed microgrooves, which improved dimensional accuracy and machining throughput. These works emphasize that ultrasonic vibration, whether applied to the tool, workpiece, or electrode, fundamentally alters discharge conditions and enhances machining outcomes.

Beyond machining mechanisms, hybrid processes have been explored. Han et al. [8] investigated ultrasonic vibration-assisted powder-mixed EDM of TiN ceramics and reported improved surface finish with enhanced MRR. Lin et al. [9] earlier demonstrated that combining EDM with ultrasonic vibration and abrasive jet machining could improve machining efficiency, while Prihandana et al. [10] analyzed micro-powder suspension and ultrasonic vibration in dielectric fluid, validating

Taguchi-based optimization to enhance micro-EDM performance. More recently, Dong et al. [11] employed thermodynamic simulations and experiments to evaluate vertical UV-EDM, confirming its potential for machining hard alloys. These studies highlight diverse configurations of UV-EDM and the continuous trend toward hybridized processes.

Theoretical and numerical modeling has also contributed to understanding process mechanisms. Singh et al. [12] presented finite element modeling of ultrasonic vibration-assisted EDM, providing insights into discharge energy distribution, while Shervani-Tabar et al. [13] investigated simultaneous ultrasonic vibration of tool and workpiece, showing synergetic effects on machining stability. Such studies provide a foundation for predictive modeling and optimization in UV-EDM.

Despite these advances, challenges remain in systematically optimizing multiple conflicting performance measures, particularly in machining advanced materials such as HARDOX 500 steel, known for its high hardness and wear resistance. While prior works [1-6, 10-13] demonstrate improvements in either productivity or surface quality, few studies have considered simultaneous optimization of MRR and Ra under UV-EDM conditions. Moreover, while multi-objective evolutionary algorithms like NSGA-II have been applied in EDM contexts, limited research has combined them with multi-criteria decision-making (MCDM) methods such as MABAC to identify the most balanced solution from the Pareto front. This creates a research gap in developing a hybrid optimization and decision-support framework tailored for UV-EDM of HARDOX 500.

Therefore, the objective of this study is

to address this gap by integrating GPR-based modeling with NSGA-II for multi-objective optimization, and applying the MABAC method for decision support. Specifically, the goals are to simultaneously maximize MRR and minimize Ra in UV-EDM of HARDOX 500 steel. By combining evolutionary optimization with decision-making analysis, this work contributes a robust methodology for enhancing both productivity and surface quality in machining ultra-hard steels, while providing a systematic framework extendable to other advanced EDM processes.

2. METHODOLOGY

2.1. NSGA-II for Multi-Objective Optimization

The NSGA-II is one of the most widely applied evolutionary algorithms for solving multi-objective optimization problems due to its elitist mechanism, fast non-dominated sorting, and crowding distance-based diversity preservation. In this study, NSGA-II is employed to optimize two conflicting objectives in UV-EDM of HARDOX 500 steel: maximizing the MRR and minimizing the Ra.

The algorithm begins with the initialization of a population of candidate solutions generated within the ranges of machining parameters (pulse on-time, pulse off-time, discharge current, gap voltage, and vibration amplitude). Each individual solution is evaluated using GPR surrogate models that predict MRR and Ra from the process parameters.

The main steps of NSGA-II are as follows:

1) Fast Non-dominated Sorting: The population is ranked into multiple Pareto fronts based on non-dominance relationships.

2) Crowding Distance Assignment: To maintain diversity, the crowding distance of each individual in a front is computed.

3) Selection: A binary tournament selection based on Pareto rank and crowding distance is used to select parents.

4) Crossover and Mutation: Offspring solutions are generated through simulated crossover and Gaussian mutation.

5) Elitism: Parents and offspring are merged, and the best individuals are selected to form the next generation.

Through iterative evolution, NSGA-II converges to a Pareto-optimal front that represents the trade-off set of machining solutions balancing Ra and MRR.

2.2. MABAC for Multi-Criteria Decision Making

The MABAC method, introduced by Pamucar and Cirovic in 2015, is employed to rank the Pareto-optimal solutions obtained by NSGA-II. Unlike classical multi-criteria decision-making (MCDM) methods, MABAC ranks alternatives based on their relative distances to a defined “border approximation area”, thereby allowing a robust and interpretable decision process.

The MABAC procedure consists of the following steps [14]:

*Step 1: Build the initial decision-making matrix

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mj} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

Where: m is the number of alternatives

and n is the number of criteria.

*Step 2: Normalize the decision matrix

For each criterion, the normalized values are calculated as:

$$r_{ij}^* = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-} \quad (2)$$

$$r_{ij}^* = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+} \quad (3)$$

In which, $i = 1, 2, \dots, m$ and $j = 1, 2, \dots, n$. Equation (2) is applied for criteria MRR, and (3) is applied for Ra. Also, $r_i^+ = \max(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ and $r_i^- = \min(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$.

*Step 3: Compute the weighted normalized matrix

$$v_{ij} = w_j + w_j \times r_{ij}^* \quad (4)$$

*Step 4: Calculate the border approximation area for each criterion

$$g_j = (\prod_{i=1}^m v_{ij})^{1/m} \quad (5)$$

*Step 5: Determine the distance of each alternative from the border approximation area

$$q_{ij} = v_{ij} - g_j \quad (6)$$

Where: $i = 1, 2, \dots, m$ and $j = 1, 2, \dots, n$.

*Step 6: Calculate the total distance for each alternative

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

*Step 7: Rank the alternatives by maximizing S.



3. EXPERIMENTAL WORK

Figure 1 illustrates the experimental setup employed in this study. All machining experiments were performed on a Sodick A30 CNC EDM system, which was modified to integrate a high-power ultrasonic vibration module. The integration of ultrasonic vibration aimed to enhance spark stability, improve dielectric flushing efficiency, and promote more effective debris evacuation during the machining of hard materials such as HARDOX 500 steel.

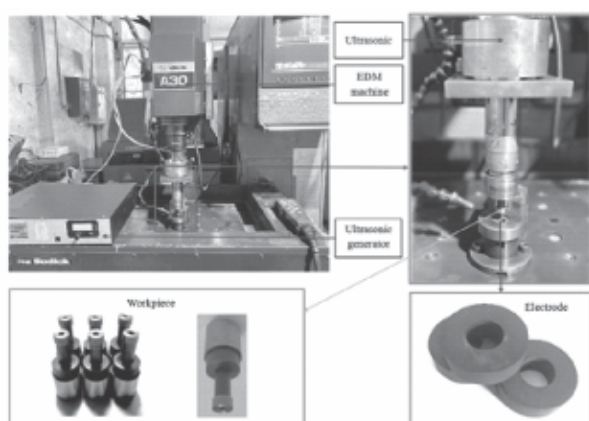


Figure 1. Experimental setup

Ultrasonic vibrations were generated using an MPI WG-3000 ultrasonic generator (MPI Ultrasonics, Switzerland) with a rated power of 3000 W. These vibrations were transmitted through an RPS-5020-4Z ultrasonic transducer operating at a frequency of 20 kHz and a nominal power of 2000 W. To efficiently transfer vibratory energy into the machining zone, a custom-fabricated titanium horn was employed. The horn provided consistent vibratory motion at the tool–workpiece interface, which is critical for maintaining uniform spark distribution and enhancing the dielectric flushing mechanism.

The tool electrode used was HK2 graphite, selected due to its excellent electrical conductivity and favorable wear resistance in EDM applications. The dielectric fluid was Diel MS 7000 (Total, France), a commercial EDM oil chosen for its stable discharge characteristics and high thermal resistance. The workpiece material was HARDOX 500 steel, a quenched and tempered alloy known for its high hardness and abrasion resistance. Cylindrical specimens were prepared to facilitate uniform flushing conditions and consistent surface roughness evaluation.

Two performance indicators were considered as the output responses: MRR and Ra. The MRR was determined using the gravimetric method, which offers high precision and reproducibility in EDM research. Prior to machining, each specimen was cleaned with ethanol, dried with warm air, and weighed using an analytical balance with a resolution of 0.1 mg. Following machining, the same cleaning and drying procedure was repeated before reweighing. The MRR (g/h) was calculated as:

$$MRR = \frac{m_{\text{before}} - m_{\text{after}}}{t} \cdot 3600 \quad (8)$$

Where: m_{before} and m_{after} represent the masses of the workpiece before and after machining (g), and t is the machining time (s).

The Ra of the machined surfaces was measured using a Mitutoyo SV3100 surface roughness tester. To ensure reliability and representativeness, three measurements were taken at different positions along the external cylindrical surface of each specimen, and their average was reported as the final Ra.

The experimental design was based on the Box–Behnken Design (BBD), which

is particularly suitable for response surface modeling involving multiple variables while minimizing the number of required experimental runs. Five input parameters were selected for investigation: A, T_{on} , T_{off} , IP, and SV. Each parameter was studied at three levels (low, medium, high), with ranges determined through preliminary trials and bounded by the operational limits of the EDM system and ultrasonic module.

The complete experimental matrix, along with the measured responses of MRR and Ra for each run, is presented in Table 1.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Performance of GPR Models

GPR models were developed to predict the machining responses Ra and MRR from the five input variables (A, T_{on} , T_{off} , IP, and SV). The predictive accuracy of the models was first evaluated using training and five-fold cross-validation datasets. For Ra, the GPR model achieved an R^2 of 0.95 on training and 0.59 on cross-validation, indicating that although the model fit the experimental data well, predictive accuracy under unseen data conditions was moderately limited. In contrast, the MRR model yielded R^2 values of 0.94 (training) and 0.86 (cross-validation), demonstrating robust predictive capability. The predicted versus actual plots (Figure 2) confirm that GPR provides reliable surrogates for subsequent optimization, particularly for MRR.

Table 1. Experimental matrix and measured responses (MRR and Ra)

No.	A (μm)	T_{on} (μs)	T_{off} (μs)	IP (A)	SV (V)	MRR (g/h)	Ra (μm)
1	1.2	8	12	10	5	3.346	3.353
2	1.2	16	12	10	5	1.482	6.569
3	5.2	8	12	10	5	3.119	3.198
4	5.2	16	12	10	5	1.228	5.711
5	3.2	12	8	5	5	1.210	7.220
6	3.2	12	8	15	5	3.665	6.764
7	3.2	12	16	5	5	1.317	6.462
8	3.2	12	16	15	5	4.013	7.260
9	3.2	8	12	10	4	3.293	3.175
10	3.2	8	12	10	6	3.211	3.201
11	3.2	16	12	10	4	1.572	5.889
12	3.2	16	12	10	6	1.416	6.588
13	1.2	12	8	10	5	3.474	5.418
14	1.2	12	16	10	5	3.850	4.492
15	5.2	12	8	10	5	4.073	5.444
16	5.2	12	16	10	5	3.832	4.959
17	3.2	12	12	5	4	1.347	6.339
18	3.2	12	12	5	6	1.274	5.968



19	3.2	12	12	15	4	3.732	6.726
20	3.2	12	12	15	6	4.167	7.312
21	3.2	8	8	10	5	4.216	3.430
22	3.2	8	16	10	5	3.290	3.256
23	3.2	16	8	10	5	1.391	7.280
24	3.2	16	16	10	5	1.360	5.313
25	1.2	12	12	5	5	1.351	6.730
26	1.2	12	12	15	5	3.943	7.595
27	5.2	12	12	5	5	1.243	6.099
28	5.2	12	12	15	5	3.993	8.799
29	3.2	12	8	10	4	4.010	5.790
30	3.2	12	8	10	6	4.069	5.019
31	3.2	12	16	10	4	4.046	5.287
32	3.2	12	16	10	6	4.041	5.479
33	1.2	12	12	10	4	3.759	4.408
34	1.2	12	12	10	6	3.746	5.259
35	5.2	12	12	10	4	3.853	6.312
36	5.2	12	12	10	6	3.811	5.564
37	3.2	8	12	5	5	1.444	2.965
38	3.2	8	12	15	5	3.364	3.850
39	3.2	16	12	5	5	0.969	7.694
40	3.2	16	12	15	5	1.566	12.089
41	3.2	12	12	10	5	3.733	4.483
42	3.2	12	12	10	5	3.829	4.919
43	3.2	12	12	10	5	3.822	5.483
44	3.2	12	12	10	5	3.799	5.032
45	3.2	12	12	10	5	3.764	5.455
46	3.2	12	12	10	5	3.775	4.785

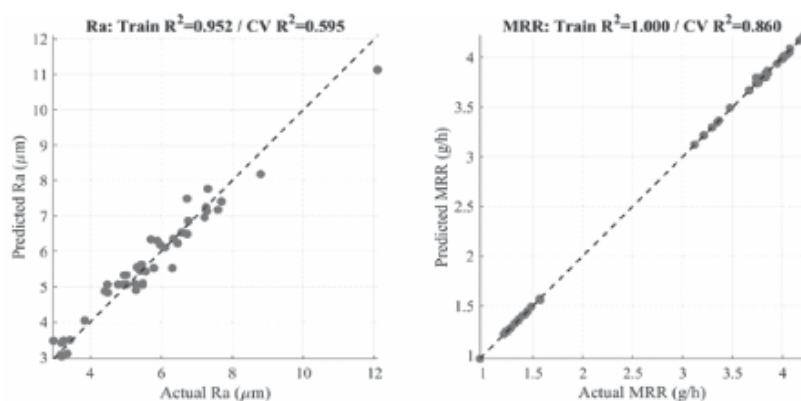


Figure 2. Predicted versus actual values of (a) Ra and (b) MRR using GPR models

4.2. Pareto Front Generation Using NSGA-II

To provide a clear overview of all experimental results, Figure 2 illustrates the AHP Score for each experiment, with the best-performing configuration (Rank 1) highlighted in red.

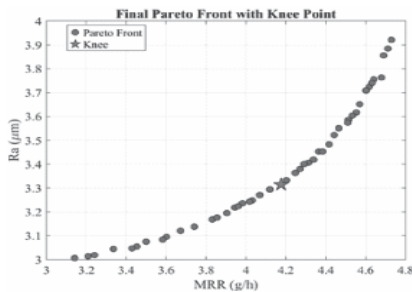


Figure 3. Final Pareto front with identification of the knee-point solution

The NSGA-II was applied to simultaneously minimize Ra and maximize MRR. Over 100 generations with a population size of 50, NSGA-II demonstrated consistent convergence. The Pareto front obtained (Figure 3) reveals a distinct trade-off relationship: lower Ra values are achievable at the expense of reduced MRR, and vice versa. This trade-off reflects the inherent conflict between surface quality and productivity in EDM. The spread and density of solutions indicate that NSGA-II effectively preserved population diversity, thereby enabling a comprehensive exploration of the solution space.

4.3. Selection of Optimal Solution Using MABAC

While the Pareto front provides multiple non-dominated alternatives, decision-making support is required to identify the most balanced solution. The MABAC method was employed to rank Pareto solutions based on their relative distances from a defined border approximation area. Results showed that the optimal solution selected by MABAC corresponded to machining parameters of

approximately $A = 3.90 \mu\text{m}$, $T_{\text{on}} = 9.08 \mu\text{s}$, $T_{\text{off}} = 8.18 \mu\text{s}$, $IP = 11.63 \text{ A}$, and $SV = 5.32 \text{ V}$, yielding $Ra = 3.92 \mu\text{m}$ and $MRR = 4.73 \text{ g/h}$. This solution prioritizes higher productivity with a moderate compromise in surface quality compared to the knee-point solution.

4.4. Knee-Point Analysis

In addition to MABAC, the knee-point of the Pareto front was identified using the chord distance method (Figure 3). The knee-point represents the most balanced compromise between the two objectives. The selected knee solution achieved $Ra \approx 3.31 \mu\text{m}$ and $MRR \approx 4.19 \text{ g/h}$. Compared with the MABAC solution, the knee-point emphasized improved surface quality at the cost of slightly lower material removal rate. This confirms the complementary roles of MABAC and knee-point analysis: while MABAC selects the best-ranked alternative based on a global decision matrix, the knee-point provides a purely geometric criterion for balance.

4.5. Discussion

The results confirm that the integration of NSGA-II with MABAC provides a systematic and effective decision-support framework for UV-EDM optimization. The Pareto front clearly illustrates the conflict between Ra and MRR in machining HARDOX 500, while the use of GPR ensures efficient and accurate evaluation of candidate solutions. The MABAC solution highlights productivity-oriented optimization, whereas the knee-point emphasizes balanced surface quality. Together, these approaches offer valuable flexibility to decision-makers, depending on whether production throughput or surface integrity is prioritized. Importantly, the proposed framework can be generalized to other hard-to-machine materials and hybrid EDM configurations, demonstrating its broader applicability in advanced manufacturing optimization.



5. CONCLUSION

In this study, a hybrid framework combining GPR, the NSGA-II, and the MABAC method was developed and applied to the UV-EDM of HARDOX 500 steel. The following conclusions can be drawn:

1) GPR models provided accurate predictive capability for both Ra and MRR, with the MRR model showing particularly strong generalization performance, thereby enabling efficient surrogate-assisted optimization.

2) NSGA-II successfully generated a well-distributed Pareto front, highlighting the trade-off relationship between minimizing surface roughness and maximizing material removal rate. Convergence analysis using the hypervolume indicator confirmed the robustness of the optimization process.

3) The MABAC method effectively ranked Pareto solutions and identified an optimal set of parameters ($A \approx 3.90 \mu\text{m}$, $T_{\text{on}} \approx 9.08 \mu\text{s}$, $T_{\text{off}} \approx 8.18 \mu\text{s}$, $IP \approx 11.63 \text{ A}$, $SV \approx 5.32 \text{ V}$), yielding $Ra \approx 3.92 \mu\text{m}$ and $MRR \approx 4.73 \text{ g/h}$. This solution emphasizes higher productivity with a moderate compromise in surface quality.

4) Knee-point analysis provided an alternative compromise solution ($Ra \approx 3.31 \mu\text{m}$, $MRR \approx 4.19 \text{ g/h}$), which favors surface quality at the expense of slightly reduced productivity. The complementarity of MABAC ranking and knee-point selection highlights the flexibility of the proposed framework in decision support.

Acknowledgments:

This work was supported by Ministry of Education and Training of Vietnam (MOET) through Project B2024-TNA-18. ❖

References:

[1]. P. Wang et al., “Debris motion and taper suppression

in EDM deep hole machining assisted by longitudinal/torsional ultrasonic vibration”. *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 133, pp. 798-810, 2025.

[2]. P. Zhang et al., “Investigating mechanisms of debris removal in ultrasonic vibration-assisted EDM drilling”. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 279, p. 109486, 2024.

[3]. Z. Yin et al., “A novel EDM method using longitudinal-torsional ultrasonic vibration (LTV) electrodes to improve machining performance for micro-holes”. *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 102, pp. 231-243, 2023.

[4]. W. CHENXUE, T. SASAKI, and A. HIRAO, “Observation of bubble behavior in EDM with ultrasonic vibration”. *Procedia CIRP*, vol. 113, pp. 267-272, 2022.

[5]. Z. Li, J. Tang, Y. Li, and J. Bai, “Investigation on surface integrity in novel micro-EDM with two-dimensional ultrasonic circular vibration (UCV) electrode”. *J. Manuf. Process* 76: 828-840," ed, 2022.

[6]. Z. Li, J. Tang, and J. Bai, “A novel micro-EDM method to improve microhole machining performances using ultrasonic circular vibration (UCV) electrode”. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 175, p. 105574, 2020.

[7]. J. Lei, H. Shen, H. Wu, W. Pan, X. Wu, and C. Zhao, “Ultrasonic vibration-assisted electrical discharge machining of enclosed microgrooves with laminated electrodes”. *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 30, pp. 9521-9530, 2024.

[8]. J. Han, X. Gao, Y. Zhou, Z. Li, M. Gao, and Q. Zhang, “Machining characteristics in ultrasonic vibration-assisted powder-mixed electrical discharge machining of TiN ceramics”. *Ceramics International*, vol. 50, no. 8, pp. 13478-13489, 2024.

[9]. M. Xu, J. Zhang, Y. Li, Q. Zhang, and S. Ren, “Material removal mechanisms of cemented carbides machined by ultrasonic vibration assisted EDM in gas medium”. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 4, pp. 1742-1746, 2009.

[10]. G. S. Prihandana, M. Mahardika, M. Hamdi, Y. S. Wong, and K. Mitsui, “Effect of micro-powder suspension and ultrasonic vibration of dielectric fluid in micro-EDM processes—Taguchi approach”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49, no. 12-13, pp. 1035-1041, 2009.

[11]. Y. Dong, J. Liu, G. Li, and Y. Wang, “Thermodynamic simulation modeling analysis and experimental research of vertical ultrasonic vibration assisted EDM”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 119, no. 7, pp. 5303-5314, 2022.

[12]. J. Singh, R. Walia, P. Satsangi, and V. Singh, “FEM modeling of ultrasonic vibration assisted work-piece in EDM process”. *International Journal of Mechanic Systems Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 8-16, 2011.

[13]. M. T. Shervani-Tabar, K. Maghsoudi, and M. R. Shabgard, “Effects of simultaneous ultrasonic vibration of the tool and the workpiece in ultrasonic assisted EDM”. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, vol. 14, no. 1, pp. 1-9, 2013.

LILAMA 10 tăng tốc trên công trường Hồ chứa nước Cánh Tạng

Hồ chứa nước Cánh Tạng là một trong những công trình thủy lợi trọng điểm của khu vực Bắc Bộ, có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong việc cung cấp nguồn nước tưới tiêu, cấp nước sinh hoạt, phát triển sản xuất nông nghiệp và giảm thiểu nguy cơ lũ lụt cho hàng chục nghìn hộ dân. Dự án trước đây thuộc địa phận tỉnh Hòa Bình cũ, hiện nay thuộc tỉnh Phú Thọ. Trong tổng thể dự án quy mô lớn này, Công ty Cổ phần LILAMA 10 đảm nhiệm một trong những hạng mục kỹ thuật then chốt – gia công, chế tạo và lắp đặt hệ thống đường ống D1700, D1600, đóng vai trò trực tiếp trong việc dẫn và điều tiết nước của toàn bộ công trình.

Nỗ lực trên công trường – dấu ấn của tinh thần LILAMA 10

Ngay sau khi nhận bàn giao mặt bằng và hợp đồng thi công, LILAMA 10 đã nhanh chóng huy động đội ngũ kỹ sư, công nhân lành nghề cùng hệ thống thiết bị, máy móc hiện đại để triển khai công việc theo đúng tiến độ và yêu cầu kỹ thuật. Tại Nhà máy chế tạo thiết bị và kết cấu thép Hà Nam, hàng trăm tấn ống thép có đường kính lớn được gia công, kiểm định nghiêm ngặt và vận chuyển đến công trường trong điều kiện địa hình miền núi phức tạp.



Đội ngũ của LILAMA 10 đã chứng minh năng lực vượt trội trong lĩnh vực cơ khí – lắp máy công nghiệp và thủy lợi.

Tính đến thời điểm hiện nay, tập thể cán bộ, kỹ sư và công nhân LILAMA 10 đã đạt được những kết quả ấn tượng:

- Hoàn thành vận chuyển và lắp đặt 622 tấn thiết bị đường ống;
- Đạt 65% khối lượng công việc theo hợp đồng gói thầu;
- Đảm bảo tuyệt đối an toàn lao động, tuân thủ các tiêu chuẩn kỹ thuật và tiến độ đề ra.

Việc thi công hệ thống đường ống cỡ lớn với yêu cầu cao về kỹ thuật hàn, độ chính xác trong lắp đặt và khả năng chịu áp lực lớn là thử thách không nhỏ. Đặc biệt, địa hình công trường chủ yếu là vùng bán sơn địa, nền đất yếu, điều kiện thi công phức tạp, thời tiết thay đổi thất thường, đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa các bộ phận và tinh thần làm việc khẩn trương, kỷ luật. Tuy vậy, đội ngũ của LILAMA 10 đã vượt qua mọi khó khăn, chứng minh năng lực vượt trội trong lĩnh vực cơ khí – lắp máy công nghiệp và thủy lợi, cũng như khả năng đảm nhận những dự án lớn có yêu cầu kỹ thuật cao.

Hạng mục trọng điểm – yếu tố quyết định vận hành công trình

Trong cấu trúc tổng thể của Hồ chứa nước Cánh Tạng, hệ thống đường ống D1700, D1600 đóng vai trò như “mạch dẫn” của toàn bộ công trình. Đây là phần việc trực tiếp đảm bảo khả năng cấp nước, điều tiết lưu lượng và duy trì ổn định áp lực nước trong suốt quá trình vận hành. Mọi sai lệch nhỏ trong hàn, ghép nối hay định vị đều có thể ảnh hưởng đến chất lượng, tuổi thọ của công trình và hiệu quả sử dụng nước.

Nhận thức rõ tầm quan trọng đó, LILAMA 10 đã triển khai quy trình kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt theo tiêu chuẩn ISO 9001:2015, từ khâu chọn vật liệu, hàn, kiểm tra siêu âm mối nối, thử áp, cho đến quá trình lắp đặt tại hiện trường. Mỗi công đoạn đều được giám sát và nghiệm thu chặt chẽ, bảo đảm chất lượng cao nhất, độ bền tối đa và an toàn tuyệt đối.



Không chỉ chú trọng đến yếu tố kỹ thuật, LILAMA 10 còn coi trọng việc bảo vệ môi trường và an toàn lao động trong suốt quá trình thi công. Các biện pháp an toàn được thực hiện nghiêm túc, từ kiểm tra thiết bị, huấn luyện định kỳ cho công nhân, đến quản lý vật tư, chất thải, đảm bảo không gây ảnh hưởng đến hệ sinh thái khu vực.

Theo quy hoạch, hồ Cánh Tạng được xây dựng trên sông Sào – con sông duy nhất còn đủ điều kiện khai thác nguồn nước trong vùng. Khi hoàn thành, công trình sẽ cấp nước tưới trực tiếp cho 2.230ha đất nông nghiệp, tạo nguồn tưới cho 4.230ha đất canh tác thuộc 13 xã của hai huyện Lạc Sơn và Yên Thủy (nay thuộc tỉnh Phú Thọ). Đây là khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề bởi tình trạng hạn hán, thiếu nước kéo dài nhiều năm qua.

Thực tế, vùng bán sơn địa này có diện tích canh tác lên đến 24.235ha, nhưng chỉ khoảng 12,5% được tưới tiêu chủ động. Việc đưa công trình Hồ chứa nước Cánh Tạng vào vận hành không chỉ giúp ổn định sản xuất nông nghiệp, tăng năng suất cây trồng, mà còn cải thiện đời sống người dân, tạo điều kiện phát triển thủy sản, du lịch sinh thái và công nghiệp nông thôn.

Ngoài ra, công trình còn có chức năng điều tiết lũ, bổ sung nguồn nước sinh hoạt và công nghiệp, góp phần đảm bảo an ninh nguồn nước cho khu vực trung du Bắc Bộ. Đây cũng là dự án có tác động tích cực đến phát triển kinh tế – xã hội bền vững, gắn với mục tiêu thích ứng biến đổi khí hậu và sử dụng tài nguyên nước hiệu quả.



“Kỷ luật – An toàn – Chất lượng – Hiệu quả” - Kim chỉ nam trong mọi hoạt động của LILAMA 10 – từ nhà máy chế tạo đến công trường thi công.

Quyết tâm hoàn thành đúng tiến độ, đồng hành cùng phát triển địa phương

Trong suốt hành trình hơn 40 năm phát triển, LILAMA 10 đã ghi dấu ấn trên hàng loạt công trình trọng điểm quốc gia, từ thủy điện, nhiệt điện, dầu khí, công nghiệp nặng đến các dự án hạ tầng kỹ thuật và dân dụng. Nhiều công trình như Thủy điện Hòa Bình, Ialy, Sơn La, Lai Châu, Nhà máy Nhiệt điện Thái Bình 2, Dung Quất, Nghi Sơn... đã khẳng định năng lực vượt trội và vị thế hàng đầu của doanh nghiệp trong lĩnh vực cơ khí – lắp máy Việt Nam.

Việc tham gia thi công đường ống Hồ chứa nước Cánh Tạng tiếp tục là minh chứng cho khả năng làm chủ công nghệ, quản lý tiến độ và đảm bảo chất lượng thi công của LILAMA 10. Bằng kinh nghiệm tích lũy qua hàng trăm dự án lớn, doanh nghiệp luôn duy trì triết lý hành động: “Kỷ luật – An toàn – Chất lượng – Hiệu quả”. Đây không chỉ là khẩu hiệu mà đã trở thành kim chỉ nam trong mọi hoạt động của LILAMA 10 – từ nhà máy chế tạo đến công trường thi công.

Trước yêu cầu cấp bách về tiến độ của dự án, tập thể cán bộ, kỹ sư và công nhân LILAMA 10 đang nỗ lực làm việc liên tục, tổ chức các ca thi công linh hoạt, vừa đảm bảo an toàn, vừa đáp ứng kế hoạch của chủ đầu tư. Tất cả đều hướng tới mục tiêu hoàn thành toàn bộ khối lượng công việc đúng tiến độ, chất lượng và an toàn tuyệt đối, đóng góp vào thành công chung của dự án.

Khi Hồ chứa nước Cánh Tạng hoàn thành và được đưa vào khai thác, công trình không chỉ mang lại hiệu quả thiết thực cho người dân địa phương mà còn khẳng định vai trò, uy tín của LILAMA 10 trong việc tham gia xây dựng những công trình thủy lợi, hạ tầng mang tầm quốc gia.

Với tinh thần trách nhiệm cao, ý chí của những người “lính thợ LILAMA”, cùng năng lực kỹ thuật đã được khẳng định qua nhiều năm, LILAMA 10 tiếp tục khẳng định vị thế là doanh nghiệp hàng đầu trong lĩnh vực cơ khí – lắp máy, góp phần quan trọng vào công cuộc hiện đại hóa hạ tầng, phát triển kinh tế – xã hội và bảo đảm an ninh nguồn nước cho đất nước. ♦

PV