

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN TĂNG CHIỀU SÂU LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐÀO MỘT GẦU THỦY LỰC CỖ LỚN PC1100SP-6

RESEARCH AND CALCULATION OF INCREASING THE WORKING DEPTH OF
THE LARGE HYDRAULIC SINGLE BUCKET EXCAVATOR PC1100SP-6

TS. Đoàn Văn Tú

Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu, tính toán thiết kế kết cấu thép bộ công tác máy đào hiện có nhằm mở rộng khả năng làm việc, giảm chi phí đầu tư, thay thế thiết bị ngoại nhập phù hợp với điều kiện kinh tế và công nghệ chế tạo sản phẩm cơ khí trong nước. Trên cơ sở các phương pháp tính kết cấu truyền thống, bài báo trình bày kết quả tính toán, thiết kế, mô phỏng tay gầu mới lắp trên hệ thống cần và xi-lanh thủy lực hiện có của máy đào một gầu thủy lực cỡ lớn PC1100-SP, đồng thời mô phỏng các vị trí làm việc của máy trên phần mềm Solidworks. Kết quả của bài báo là cơ sở cho việc thiết kế, chế tạo tay gầu mới để mở rộng phạm vi làm việc của máy đào PC1100-SP nói riêng và các máy đào một gầu nói chung.

Từ khóa: Máy đào một gầu truyền động thủy lực; Hoán cải tay gầu; Phần tử hữu hạn; Solidworks.

ABSTRACT

The article focuses on researching and calculating the steel structure design of existing excavator working sets to expand working capabilities, reduce investment costs, and replace imported equipment in accordance with economic and industrial conditions, mechanical product manufacturing technology. Based on traditional structural calculation methods, this article presents the results of calculation, design, and simulation of a new bucket arm installed on the existing hydraulic cylinder and boom system of a large hydraulic single-bucket excavator PC1100-SP. Simulation of the excavator's working positions on Solidworks software is performed. The results of the article are the basis for designing and manufacturing new bucket arms to expand the working range of excavators PC1100-SP in particular and single-bucket excavators in general.

Keywords: Hydraulic transmission single bucket excavator; Bucket arm renovation; Finite element method; Solidworks.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

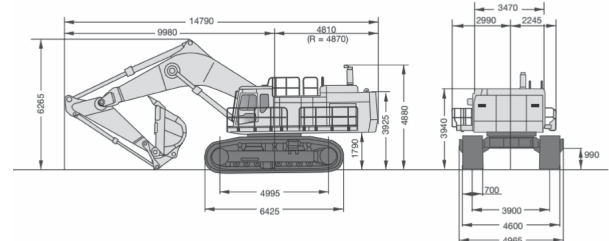
Trong quá trình thi công xây dựng hạ tầng, việc sử dụng các thiết bị máy móc trong các biện pháp thi công đóng một vai trò quan trọng, quyết định đến chất lượng, năng suất của công trình. Tuy nhiên, trong một số công việc cụ thể, các thiết bị hiện có chưa thực sự phù hợp, nếu đặt hàng của hãng sẽ mất nhiều chi phí cũng như thời gian nên việc thiết kế, chế tạo hoán cải trong nước phù hợp với các doanh nghiệp vừa và nhỏ có ý nghĩa thực tiễn và kinh tế. Trên nhu cầu thực tiễn, khi các doanh nghiệp đã đầu tư máy đào cỡ lớn chi phí cao, nhưng phạm vi đào chưa đáp ứng được yêu cầu trong một số công trình cụ thể như công tác đào đắp trên biển đảo, máy đào là giải pháp lựa chọn chủ yếu, đặc biệt là một số công trình cần chiều sâu lớn như luồng cảng để neo đậu thuyền. Các biện pháp thi công hiện nay có thể dùng các loại tàu hút nhưng chi phí đầu tư thiết bị rất cao lên đến vài chục triệu đô-la hoặc có thể sử dụng biện pháp tiết kiệm hơn nhiều là khoan nổ mìn rồi đào xúc nạo vét vật liệu bằng máy đào cỡ lớn có năng suất cao. Trong phạm vi bài báo này, tác giả sẽ tập trung nghiên cứu sử dụng máy đào một gầu thủy lực cỡ lớn Komatsu PC1100SP-6 có trọng lượng 104 tấn, lắp gầu tối đa 6,5 m³ để thi công [1, 2]. Tuy nhiên, chiều sâu đào làm việc của máy không đáp ứng được, đơn vị thi công phải nhập các loại bộ công tác dài hơn, giảm dung tích gầu và vẫn lắp trên máy cơ sở đó với kinh phí là rất lớn khoảng 10-15 tỷ đồng hoặc thay thế bộ công tác của máy chi phí cũng cao tầm 3-4 tỷ đồng, chưa kể thời gian đặt hàng rất lâu nếu yêu cầu không đúng loại tiêu chuẩn. Các nghiên cứu về thiết kế, chế tạo hoặc hoán cải kết cấu thép bộ công tác đào còn hạn chế, chủ yếu mang nặng tính chép mẫu và thiết kế an toàn. Đã có nhiều công trình nghiên cứu máy đào gần đây như về hệ thống truyền động máy đào bánh xích

[3], động lực học xi-lanh thủy lực điều khiển bộ công tác đào, mở rộng phạm vi làm việc của các dạng thiết bị thay thế lắp trên máy đào thủy lực một gầu [4], tích hợp đầu cắt trên máy đào thủy lực gầu nghịch phục vụ công tác thi công hầm [5], nghiên cứu vùng làm việc của đầu cắt mở luồng hàng hải lắp trên máy đào cần hai đoạn thay cho gầu thông thường [6]. Nghiên cứu, tính toán thiết kế thay đổi kích thước hình học kết cấu thép bộ công tác của máy nhằm mở rộng khả năng làm việc theo phương pháp phân tử hữu hạn [7, 8, 9, 10, 11] và phần mềm mô phỏng, làm cơ sở cho việc chế tạo trong nước thay thế thiết bị ngoại nhập giảm chi phí đầu tư phù hợp với điều kiện kinh tế có ý nghĩa.

2. PHƯƠNG ÁN HOÁN CẢI VÀ THIẾT KẾ TAY GÀU TĂNG CHIỀU SÂU LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐÀO MỘT GÀU THỦY LỰC CỠ LỚN PC1100SP-6

2.1. Yêu cầu phạm vi làm việc của máy đào một gầu thủy lực cỡ lớn PC1100SP-6

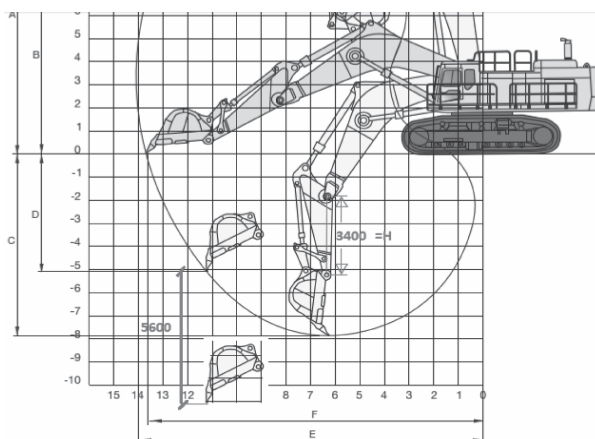
Cấu tạo của máy gồm các bộ phận chính: hệ thống động lực, hệ thống truyền động cơ khí và thủy lực, hệ thống di chuyển, bộ công tác đào và khung máy như hình 1.



Hình 1. Cấu tạo máy đào một gầu thủy lực Komatsu PC1100SP-6

Hiện tại, quỹ đạo đào và chiều sâu đào của máy như hình 2, chiều sâu đào lớn nhất là $C = 7,9\text{m}$, chiều sâu đào gầu thẳng đứng là $D = 5,025\text{m}$, bán kính đào lớn nhất tính từ tâm máy

là $F = 13,67\text{m}$, bán kính đào lớn nhất ở mặt đất là $E = 14,07\text{m}$.



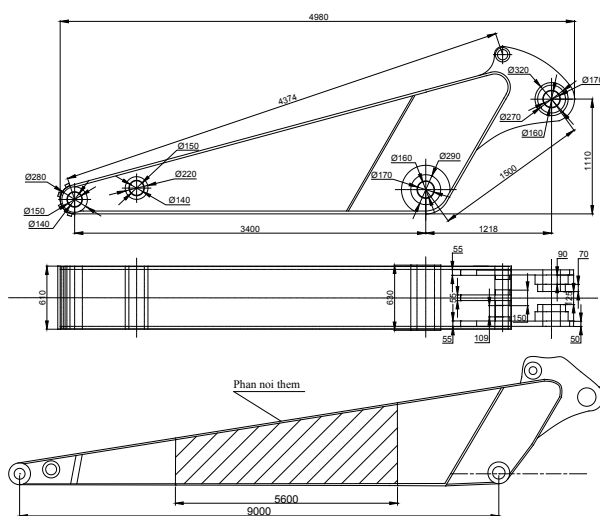
Hình 2. Chiều sâu đào yêu cầu của máy đào một gầu thủy lực PC1100SP-6 khi hoán cải

Máy có thể đào sâu lớn nhất là $C = 7,9\text{m}$, tuy nhiên do yêu cầu cần đào luồng lạch nên cần tăng chiều sâu đào gầu thẳng đứng $D = 10,3\text{m}$. Do đó, cần hoán cải bộ công tác đào cho phù hợp mà cụ thể là tăng chiều sâu đào lớn nhất lên khoảng $5,6\text{m}$ như hình 2. Khi đó, cần xác định chuyển động của bộ công tác mới, độ bền của bộ công tác, độ ổn định của máy khi thi công. Tay gầu cũ có khoảng cách giữa chốt tay gầu nối với cần và tay gầu nối với gầu là $3,4\text{m}$ sẽ cần tăng lên là 9m tức là phải tăng chiều dài tay gầu thêm $5,6\text{m}$ để chiều sâu đào gầu thẳng đứng đạt $D = 5,025 + 5400 = 10,425\text{m}$.

2.2. Các phương án tăng chiều sâu đào của máy đào một gầu thủy lực cỡ lớn PC1100SP-6

2.2.1. Kết cấu tay gầu và cần

Kết cấu tay gầu nguyên bản và phương án hoán cải để tăng chiều sâu đào như trên hình 3. Tay gầu có mặt cắt dạng tổ hợp thay đổi tiết diện theo chiều dài, tại các vị trí liên kết với gầu, cần, cơ cấu hình bình hành, xi-lanh thủy lực là các lỗ có bạc liên kết.



Hình 3. Kết cấu tay gầu nguyên bản và phương án hoán cải

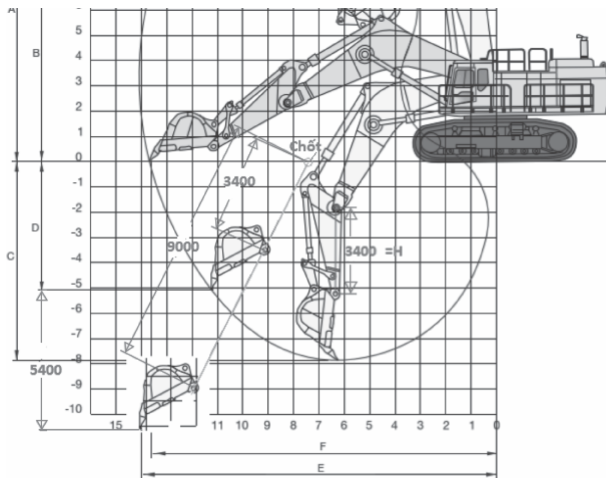
2.2.2. Phương án đề xuất

Có nhiều phương án hoán cải có thể tăng chiều sâu đào của máy, tác giả đưa ra bốn phương án:

- Phương án 1: Hoán cải bộ công tác nối dài cần và nối dài tay gầu;
- Phương án 2: Chế tạo mới cần và tay gầu, vẫn giữ bộ công tác đào cũ;
- Phương án 3: Giữ nguyên cần và nối dài tay gầu;
- Phương án 4: Giữ nguyên cần và chế tạo mới tay gầu.

Ngoài các phương án chế tạo mới các kết cấu tay gầu, cần thì có thể gia công nối như hình 3. Trong các phương án đưa ra, với yêu cầu của việc tăng chiều sâu đào lên $10,3\text{m}$, tác giả tập trung vào phương án chế tạo mới tay gầu lắp trên hệ thống cần và xi-lanh thủy lực hiện có của máy. Phương án có ưu điểm chế tạo mới tay gầu và gầu để nâng cao được tầm hoạt động của máy, tăng phạm vi công năng của máy, tận dụng được cần cũ, giảm chi phí

gia công cần, tận dụng toàn bộ hệ xi-lanh thủy lực, sử dụng bộ công tác cũ khi có nhu cầu và tháo lắp nhanh. Tuy nhiên cũng có nhược điểm: Phải giảm thể tích gầu, giảm năng suất của máy trong trường hợp máy thi công đúng công năng nguyên bản, tổng thể máy không ổn định, cân đối bằng phương án thay đổi kích thước cả tay gầu và cần.

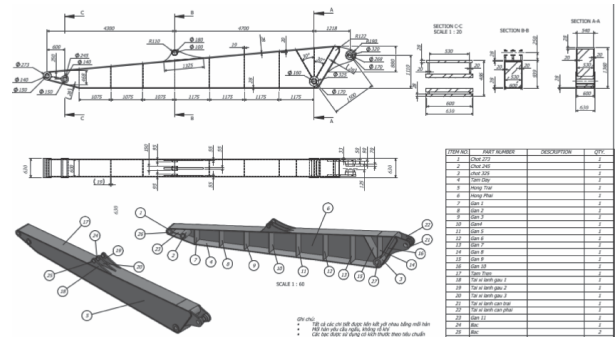


Hình 4. Chiều sâu đào sau khi cải hoán bộ công tác

Hiện tại, khoảng cách giữa chốt tay gầu nối với cần và tay gầu nối với gầu là 3,4m sẽ cần tăng lên là 9m tức là phải tăng chiều dài tay gầu thêm 5,6m, khi đó tay gầu nghiêng một góc 30° so với phương thẳng đứng và đào được chiều sâu đào gầu thẳng đứng đạt $D = 5,025 + 5400 = 10,425\text{m}$ như hình 4.

3. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG MÁY ĐÀO PC1100SP-6 VÀ KIỂM TRA ĐỘ BỀN CỦA TAY GẦU MỚI TRÊN PHẦN MỀM SOLIDWORKS

3.1. Thiết kế và mô phỏng tay gầu mới



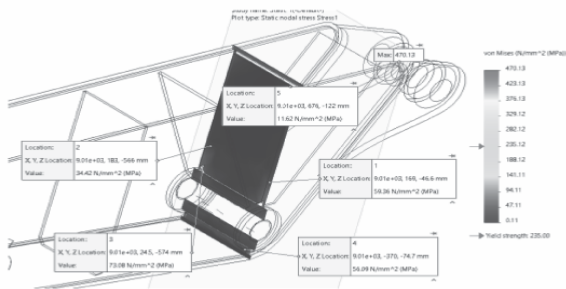
Hình 5. Kết quả thiết kế và mô phỏng tay gầu mới trên Solidworks

Trên cơ sở kích thước của tay gầu cũ và yêu cầu đặt ra, tay gầu mới được thiết kế sơ bộ có kích thước các vị trí liên kết phù hợp với kết cấu cần, cơ cấu hình bình hành và hệ xi-lanh có sẵn. Các kích thước mặt cắt được tính toán theo đường lối tính toán kết cấu thép máy đào một gầu, để tăng cứng cho kết cấu sẽ có các vách liên kết.

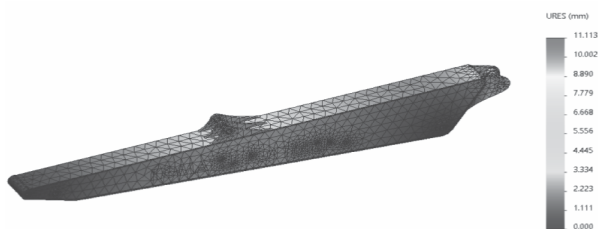
3.2. Phân tích khả năng chịu lực tay gầu mới

Xây dựng mô hình tay gầu mới: Các tấm thành, mặt trên, mặt dưới, vách, bản mã xi-lanh, gối được ghép với nhau và sử dụng vật liệu SS400. Đặt điều kiện biên coi vị trí lỗ lắp gầu là ngàm, còn lỗ lắp cần là gối di động không chế chuyển vị theo phương Z. Đặt lực tác dụng lên tay gầu tại các tai liên kết xi-lanh tay gầu gồm có lực đẩy xi-lanh tay gầu lên mỗi bên gối tai lắp xi-lanh tay gầu được tính trong trường hợp làm việc bất lợi nhất. Kết quả ứng suất tại mặt cắt đi lỗ liên kết cần và tay gầu như hình 6. Theo giá trị và biểu đồ màu thu được thì mặt cắt này có giá trị ứng suất lớn nhất là 73,08 Mpa, giá trị này nhỏ hơn giá trị ứng suất cho phép của thép SS400 là 235 MPa, các giá trị biến dạng trong giới hạn cho phép. Kết quả chuyển vị lớn nhất trên toàn bộ tay gầu nhỏ hơn chuyển vị cho phép là $[f] = 15\text{ mm}$. Tuy nhiên, tại tai liên kết xi-lanh tay gầu, ứng suất cục bộ lên 470 MPa, do đó cần bổ sung thêm tấm tăng

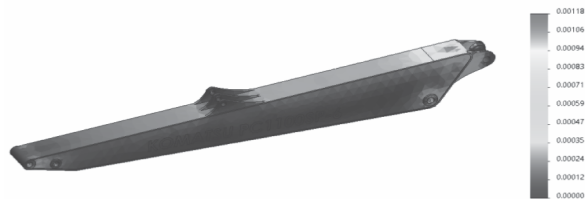
cường cho vị trí này. Giải pháp giảm thiểu tập trung ứng suất và tăng chiều rộng tiếp xúc tại bắt xi-lanh tay gầu để tăng chiều dài đường hàn, khi đó ứng suất tại mặt cắt ngang qua lỗ liên kết tay gầu và cần cũng thay đổi nhưng vẫn đảm bảo đủ bền như hình 9.



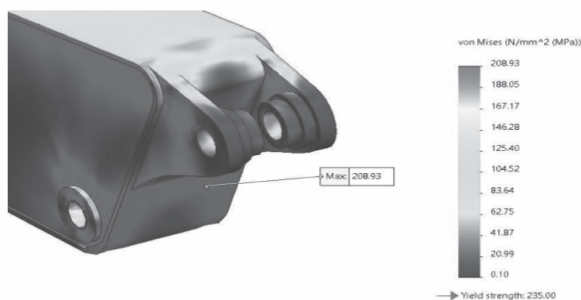
Hình 6. Giá trị ứng suất tại mặt cắt lớn nhất



Hình 7. Chuyển vị



Hình 8. Biến dạng



Hình 9. Ứng suất sau khi thêm tấm gia cường

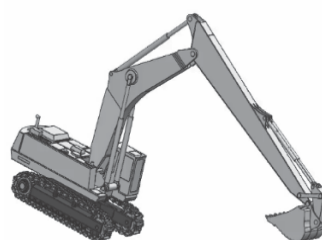
Kiểm tra biến dạng của tay gầu hình 8, độ mảnh thu được nhỏ hơn nhiều độ mảnh cho phép:

$$[\lambda] = \frac{1}{700} = 0,00143$$

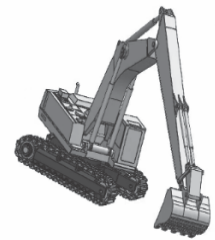
Kết luận: Sau khi đã kiểm tra độ bền, độ cứng, độ ổn định trên phần mềm Solidworks, kết cấu tay gầu thiết kế đảm bảo.

3.3. Mô phỏng các vị trí làm việc của máy

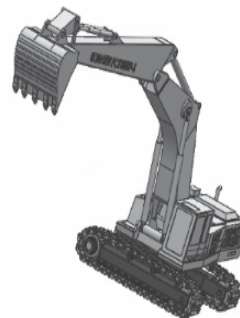
Máy sau khi cải hoán có kích thước và mô phỏng như hình 10. Do tăng chiều dài tay gầu mà vẫn giữ nguyên chiều dài cần cùng các xi-lanh thủy lực nên tay gầu chỉ có thể co ở vị trí giới hạn có kích thước ngang nhỏ nhất từ bộ công tác (gầu) đến tâm máy là 14,309m so với 9,98m máy. Các vị trí làm việc điển hình của máy khi bắt đầu làm việc, đào vật liệu ở vị trí sâu nhất rằng gầu vuông góc với nền, nâng gầu đã đầy vật liệu, đổ vật liệu chất đóng hoặc lên phương tiện vận chuyển.



Bắt đầu làm việc



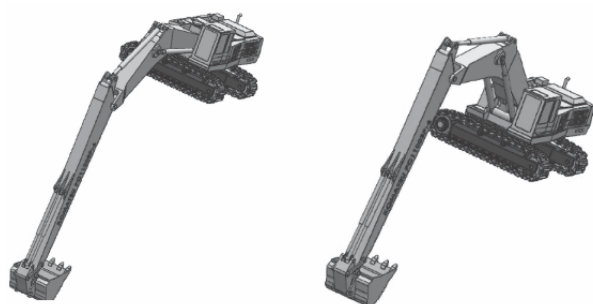
Quay máy đến vị trí đào



Hạn cần và tay gầu

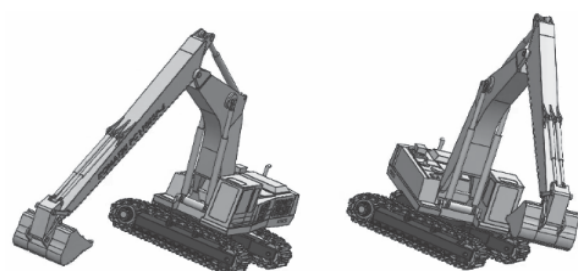


Bắt đầu đào



Vật liệu đầy gầu

Nâng gầu lên



Nâng gầu qua khối nền đào Quay máy đổ vật liệu
Hình 10. Mô phỏng một số vị trí làm việc của máy

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tóm tắt quy trình tính toán kết cấu thép tay gầu của bộ công tác máy đào theo phương pháp phần tử hữu hạn trên phần mềm Solidworks trong trường hợp chế tạo mới tay gầu để mở rộng phạm vi làm việc của máy, cụ thể là chiều sâu đào. Trên kết quả tính toán, bài báo đã mô phỏng các vị trí làm việc điển hình để xác định khả năng làm việc của máy sau khi lắp tay gầu mới với cần, hệ thống liên kết có sẵn. Kết quả thu được cho thấy, tay gầu mới đáp ứng được yêu cầu về động học, độ bền và độ ổn định máy. Đây là nghiên cứu bước đầu, cần có các nghiên cứu kỹ lưỡng hơn, đưa ra kết cấu hợp lý để chế tạo hiệu quả. Chính vì vậy, để làm chủ công nghệ sản xuất trong nước cần phải có nhiều nghiên cứu hơn nữa, hoàn thiện các thiết kế, tính toán và tối ưu sản phẩm. Hướng tiếp theo của vấn đề nghiên cứu, có thể phân tích sự biến đổi các tham số hình học của tay gầu ảnh hưởng đến độ

bền của kết cấu, từ đó làm cơ sở cho việc đưa ra kết cấu hợp lý của tay gầu, giảm trọng lượng và chi phí chế tạo.

Lời cảm ơn:

Cảm ơn Trường Đại học Giao thông Vận tải đã tài trợ cho nghiên cứu này trong khuôn khổ đề tài mã số T2024-CK-007. ❖

Ngày nhận bài: 15/02/2024

Ngày phản biện: 21/3/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hydraulic Excavator PC1100-6 / PC1100SP-6 – Komatsu.
- [2]. Operation & Maintenance Manual – advance PC1100, PC1100LC-6, PC1100SP-6 Hydraulic Excavator – Komatsu.
- [3]. Dương Trường Giang, Tăng Văn Trường, Nguyễn Tiến Dũng; “Nghiên cứu tính toán thiết kế và điều chỉnh hệ truyền động máy đào rãnh dạng xích”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XD HN 16.3V (2022): 150-161.
- [4]. Trịnh Văn Hải và nhóm nghiên cứu; “Nghiên cứu khả năng mở rộng phạm vi làm việc của các dạng thiết bị thay thế lắp trên máy đào thủy lực một gầu”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam (2015).
- [5]. Nguyễn Văn Hiền và nhóm nghiên cứu; “Nghiên cứu tích hợp đầu cắt trên máy đào thủy lực gầu nghịch phục vụ công tác thi công hầm”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam (2020).
- [6]. Trịnh Văn Hải, Trần Hữu Lý; “Nghiên cứu vùng làm việc của đầu cắt mở lưỡng lắp trên máy đào cần hai đoạn”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải 10 (2021): 327-331.
- [7]. Nguyễn Văn Vịnh, Đoàn Văn Tú; “Nghiên cứu ứng dụng phần mềm Ansys trong tính toán kết cấu thép cần trục tháp theo mẫu JTL65C4”, Tạp chí Bộ Giao thông Vận tải, 08 (2014) 19-23.
- [8]. Bùi Thanh Danh, Đoàn Văn Tú; “Ứng dụng phần mềm Ansys APDL trong tính toán thiết kế công trục long môn phục vụ lao lắp dầm bê tông khẩu độ nhịp nhỏ trong thi công cầu dân sinh”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 08 (2020) 57-68.
- [9]. Đoàn Văn Tú; “Phân tích đa tham số mặt cắt dầm chủ dạng tổ hợp của cầu trục một dầm”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 03 (2022) 104-112.
- [10]. Doan, V. T., F. Massa, T. Tison, and H. Naceur, “Coupling of homotopy perturbation method and kriging surrogate model for an efficient fuzzy linear buckling analysis: Application to additively manufactured lattice structures”. Applied Mathematical Modelling 97 (2021): 602-618.
- [11]. Hang, D.T., Tung, N.X., Tu, D.V. and Lam, N.N. 2024. “Finite element analysis of a double beam connected with elastic springs”. Engineering, Technology & Applied Science Research. 14, 1 (Feb. 2024), 12482-12487.