

Nghiên cứu, thiết kế cầu trục di động cỡ nhỏ phục vụ nâng hạ động cơ ô tô trong xưởng sửa chữa

Trần Văn Tùng*, Hoàng Hà, Đinh Bá Bách, Trần Nho Thọ, Trần Công Chi
Trường Đại học Lâm nghiệp

Research and design of small portable gantry crane for automotive engine lifting in repair workshops

Tran Van Tung*, Hoang Ha, Dinh Ba Bach, Tran Nho Tho, Tran Cong Chi
Vietnam National University of Forestry
*Corresponding author: trantungktck@gmail.com

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.13.1.2024.092-100>

TÓM TẮT

Hệ thống nâng hạ trong xưởng cơ khí nói chung và xưởng sửa chữa ô tô nói riêng có vai trò hết sức quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả công việc, đảm bảo an toàn cho người và trang thiết bị. Cầu trục cỡ nhỏ di động được thiết kế có tính linh động cao, phù hợp cho công việc nâng hạ và di chuyển các vật nặng nói chung và phục vụ quá trình tháo dỡ và lắp đặt động cơ ô tô nói riêng. Bài báo này trình bày tóm tắt kết quả tính toán thiết kế cầu trục di động cỡ nhỏ bằng phương pháp tính toán sức bền vật liệu kết hợp với mô phỏng và kiểm nghiệm bền bằng phần mềm Autodesk Inventor. Kết quả tính toán và khảo nghiệm cho thấy, cầu trục di động cỡ nhỏ có khả năng nâng hạ động cơ ô tô có khối lượng lên tới 1500 kg, chiều cao nâng 2 m do đó phù hợp với hầu hết các loại ô tô du lịch dưới 10 chỗ. Từ kết quả nghiên cứu có thể áp dụng sản phẩm phục vụ quá trình thực hành, thực tập sửa chữa ô tô tại xưởng thực tập Trường Đại học Lâm nghiệp và ứng dụng rộng rãi cho các xưởng cơ khí, sửa chữa ô tô tương tự.

ABSTRACT

Lifting systems in general mechanical workshops and specifically in automobile repair shops play a crucial role in enhancing work efficiency and ensuring safety for personnel and equipment. The Small Portable Gantry Crane (SPGC) is designed to be highly flexible and suitable for lifting and moving heavy objects in general and specifically for dismantling and installing automobile engines. This article summarizes the design and calculation results of the SPGC using the strength calculation method combined with simulation and durability testing using Autodesk Inventor software. The calculation and testing results show that the SPGC can lift automobile engines weighing up to 1500 kg, with a lifting height of 2 meters, making it suitable for most passenger cars with less than 10 seats. The research results can be applied to develop products for practical training and internships in automobile repair workshops at the Vietnam National University of Forestry and widely used in similar mechanical and automotive repair workshops.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 18/10/2023

Ngày phản biện: 20/11/2023

Ngày quyết định đăng: 19/12/2023

Từ khóa:

cầu trục di động, phân tích ứng suất bằng phần mềm Autodesk Inventor, thiết bị nâng hạ cỡ nhỏ, thiết bị nâng hạ trong xưởng sửa chữa ô tô.

Keywords:

lifting equipment in auto repair workshops, portable gantry crane, small lifting equipment, stress analysis using Autodesk Inventor software.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc thiết kế và chế tạo cầu trục phụ thuộc vào điều kiện thực tế của cơ sở sản xuất, từ đó xác định được các thông số thiết kế như tải trọng, kích thước... Do đó giá thành thiết kế và

chế tạo là rất cao, rất khó để đầu tư cho xưởng thực tập của Trường Đại học Lâm nghiệp trong giai đoạn hiện nay.

Tại xưởng thực tập của Trường Đại học Lâm nghiệp chưa có hệ thống nâng – hạ, di chuyển

động cơ ô tô phục vụ quá trình tháo lắp, sửa chữa và nâng hạ các vật nặng khác. Việc tháo lắp, nâng hạ chủ yếu được thực hiện thủ công do đó nguy cơ mất an toàn cho người và trang thiết bị là rất cao.

Trên thế giới đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về tính toán và thiết kế thiết bị nâng hạ nói chung và cầu trục nói riêng. Sau đây là một số công trình nghiên cứu điển hình trong lĩnh vực tính toán thiết kế thiết bị nâng hạ nói chung và cầu trục nói riêng.

Năm 2009, Camelia Pinca Bretotean và cộng sự [1] đã tiến hành công trình nghiên cứu “Tối ưu hóa kích thước cho cấu trúc sức mạnh của cần cầu di chuyển”. Các tác giả đã mô tả việc tối ưu hóa dầm chính của kết cấu cường độ của cần trục di chuyển được sử dụng trong luyện kim - bằng cách sử dụng chế độ OPTSTAR mà phần mềm tính toán COSMOS/M kèm theo sử dụng các phần tử hữu hạn. Để đạt được kích thước phù hợp nhất, các tác giả thực hiện cả nghiên cứu phân tích và thử nghiệm về hiệu suất của cần cầu di động. Để làm được điều đó, các tác giả đã phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng của kết cấu chịu lực bằng phần mềm tính toán dựa trên phần tử hữu hạn COSMOS này. Để xác thực nghiên cứu phân tích, các tác giả đã thực hiện một số thí nghiệm công nghiệp bằng cách sử dụng các thiết bị cụ thể để đo điện trở của lực căng điện. Cả nghiên cứu phân tích và thực nghiệm đều chỉ ra rằng có thể đưa ra các kích thước tốt nhất để giảm mức tiêu thụ vật liệu đã sử dụng trong quá trình sản xuất dầm chính trong cấu trúc chịu lực của cần cầu di động đã phân tích.

Năm 2011 các tác giả D. Gaska, C. Pypno đã nghiên cứu độ bền và ổn định đàn hồi của cần trục theo tiêu chuẩn thiết kế cũ và mới [2]. Trong nghiên cứu này, việc phân tích độ ổn định đàn hồi và độ bền của các kết cấu cần trục chịu tải, được thiết kế theo Tiêu chuẩn Ba Lan đã được thực hiện. Phân tích được so sánh với kết quả phân tích tương tự theo Tiêu chuẩn châu Âu EN 13001. Cần trục được phân tích đặc

trung cho 6 dạng dầm, tùy thuộc vào số lượng màng và chất làm cứng. Các mô hình hình học được tạo bằng UNSP – phần mềm được thực hiện để sử dụng tốt hơn các cơ sở đặc trưng hình học và bộ giải FEM, MSC, NASTRAN đã được sử dụng. Các yếu tố để xây dựng mô hình FEM là CTRIA3, CQUAD4, CHEXA, RBE2, CBAR. Việc phân tích độ bền và ổn định được thực hiện đối với trường hợp tải trọng có khả năng cầu và vị trí tời nâng ở giữa nhịp. Các kết quả được trình bày dưới dạng các yếu tố không thứ nguyên W và λ .

Trong nước cũng đã có một số công trình nghiên cứu về cầu trục đáng chú ý: Tác giả Hoàng Mạnh Cường (2020) thuộc Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [3] đã tính toán dao động của cầu trục có kể đến khối lượng của móc treo và ròng rọc. Nội dung nghiên cứu của tác giả đề cập tới việc tính toán dao động của hệ cầu trục, trong quá trình di chuyển các tải trọng, khi cả dầm chính và xe tời dịch chuyển cùng lúc, trong đó có kể đến khối lượng của móc cầu và ròng rọc. Tác giả đã xây dựng một mô hình dao động, thiết lập phương trình vi phân chuyển động cho mô hình này được thực hiện bằng cách áp dụng phương pháp Lagaranger. Việc giải hệ các phương trình vi phân được thực hiện bằng phương pháp số. Các kết quả thu được là dao động của tải trọng và móc cầu trong quá trình vận hành của cầu trục.

Tác giả Dương Trường Giang & Hà Thẩm Phán (2014) đã nghiên cứu tính toán các thông số hình học hợp lý kế cấu thép cầu trục dạng hộp có xét đến sự ảnh hưởng điều kiện ổn định cục bộ [4].

Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn là cần phải có thiết bị nâng hạ vừa đảm bảo nâng cao hiệu quả công việc, vừa đảm bảo an toàn cho người và trang thiết bị trong quá trình thực tập của sinh viên đồng thời nâng cao năng lực nghiên cứu khoa học cho giảng viên, nhóm tác giả đề xuất nghiên cứu: Thiết kế, chế tạo cầu trục di động phục vụ thực tập sửa chữa ô tô tại Trường Đại

học Lâm nghiệp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Để tính toán sơ bộ kích thước của cầu trục, đề tài sử dụng phương pháp tính toán sức bền vật liệu, dựa trên lý thuyết bền về ứng suất và chuyển vị.

Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

- Để xác định các thông số đầu vào, tác giả sử dụng phương pháp điều tra khảo sát và tổng hợp số liệu từ đó xác định được thông số hình học cơ bản của cầu trục.

- Để kiểm nghiệm bền cho cầu trục, tác giả sử dụng phương pháp mô phỏng máy với sự trợ giúp của phần mềm máy tính Autodesk Inventor để kiểm nghiệm bền cho cầu trục.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khoa học công nghệ

3.1.1. Nghiên cứu đề xuất và lựa chọn phương án thiết kế

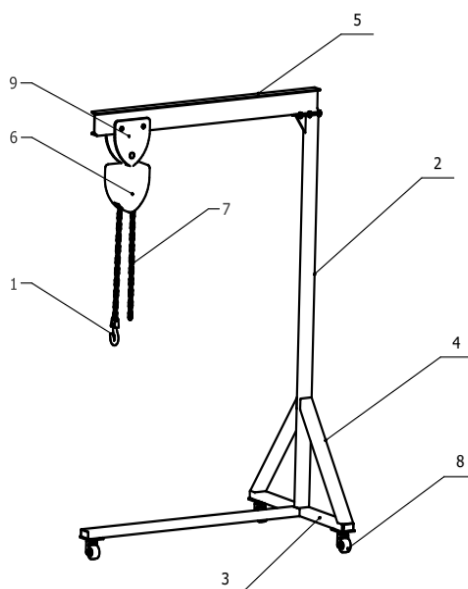
a. Xác định các thông số cơ bản cho phương án thiết kế

Để có cơ sở đề xuất phương án thiết kế, nhóm tác giả tiến hành khảo sát khối lượng của các loại xe ô tô du lịch hiện nay. Từ kết quả được tổng hợp, chọn thông số kích thước đầu vào cho quá trình thiết kế như sau:

- Chiều cao nâng $H = 2.000 \text{ mm}$
- Khẩu độ $L = 2.500 \text{ mm}$
- Tải trọng nâng $Q = 1.500 \text{ kg}$

b. Đề xuất phương án thiết kế

Phương án 1: Cầu trục một trụ



Hình 1. Phương án thiết kế 1

1. Móc; 2. Trụ đứng cầu trục; 3. Thanh ngang chân đế; 4. Thanh chéo chân đế; 5. Dầm ngang chính; 6. Ba lăng xích; 7. Sợi xích kéo; 8. Bánh xe; 9. Cụm đỡ - trượt.

Mô tả phương án:

Phương án 1 có cấu tạo bao gồm trụ đứng số 2 được hàn với thanh ngang chân đế số 3 và gia cố bởi thanh chéo chân đế số 4. Thanh ngang chân đế số 3 được lắp 03 bộ bánh xe số 8 đảm bảo cầu trục có thể di chuyển theo các hướng trên mặt sàn.

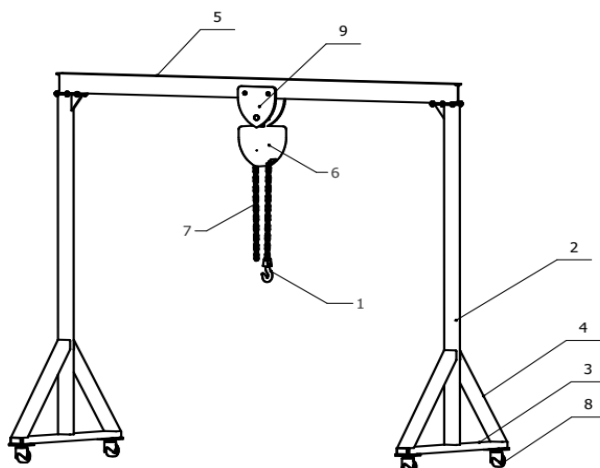
Cụm ba lăng xích số 6 được liên kết với cụm

đỡ - trượt số 9, cụm đỡ - trượt số 9 có tác dụng treo đỡ ba lăng xích số 6 đồng thời có khả năng trượt theo dầm ngang chính số 5.

Ưu nhược điểm của phương án thiết kế:

- + Ưu điểm: Phương án thiết kế 1 có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, tính linh động cao.
- + Nhược điểm: Tính ổn định hạn chế.

Phương án 2: Cầu trục 2 trụ



Hình 2. Phương án thiết kế 2

1. Móc; 2. Trụ đứng cầu trục; 3. Thanh ngang chân đế; 4. Thanh chéo chân đế; 5. Dầm ngang chính; 6. Ba lăng xích; 7. Sợi xích kéo; 8. Bánh xe; 9. Cụm đỡ - trượt.

Mô tả phương án:

Cầu trục thiết kế theo phương án 2 bao gồm 2 trụ đứng số 2 được liên kết với nhau tạo khung chữ U bởi dầm ngang chính số 5. Các trụ đứng số 2 được hàn với thanh ngang chân đế số 3 và gia cố bởi thanh chéo chân đế số 4. Thanh ngang chân đế số 3 được lắp 02 bộ bánh xe số 8 đảm bảo cầu trục có thể di chuyển theo các hướng trên mặt sàn.

Cụm ba lăng xích số 6 được liên kết với cụm đỡ - trượt số 9, cụm đỡ - trượt số 9 có tác dụng treo đỡ ba lăng xích số 6 đồng thời có khả năng trượt theo dầm ngang chính số 5.

Cụm ba lăng xích số 6 có nhiệm vụ treo tải ở móc số 1, có thể nâng hạ tải bằng dây xích số 7.

Ưu nhược điểm của phương án thiết kế:

+ Ưu điểm: Phương án thiết kế 2 có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, tính linh động cao, độ an toàn chống lật cao.

+ Nhược điểm: Kết cấu cồng kềnh hơn phương án 1.

c. Lựa chọn phương án thiết kế

Tiêu chí lựa chọn phương án:

- Phương án thiết kế phải đảm bảo yếu tố an toàn khi nâng hạ tải, ổn định chống lật.

- Có tính linh động cao, đảm bảo dễ dàng di chuyển trong xưởng.

- Kết cấu đơn giản, dễ chế tạo.

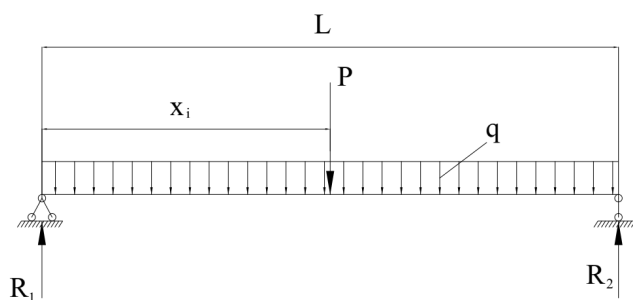
Qua phân tích ưu nhược điểm của 2 phương án, căn cứ vào các tiêu chí để lựa chọn phương án, nhóm tác giả nhận thấy phương án 2 có nhiều ưu điểm hơn, đảm bảo các tiêu chí đặt ra. Do đó, lựa chọn phương án 2 làm phương án thiết kế.

3.1.2. Tính toán, thiết kế các chi tiết chính của cầu trục

3.1.2.1. Tính toán thiết kế dầm ngang chính:

a. Xây dựng sơ đồ và phân tích lực tác dụng

Căn cứ vào phương án thiết kế đã chọn (Hình 2) tiến hành xây dựng sơ đồ và phân tích lực tác dụng lên dầm ngang chính như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ lực tác dụng lên dầm ngang chính

Trong đó:
 L là chiều dài tổng cộng của dầm, L = 2,5 m;
 x_i là khoảng cách từ một điểm đầu của dầm tới vị trí đặt lực di động P;
 P là lực do tải đặt lên dầm, P = Q * g;
 Q là tải trọng nâng, Q = 1.500 kg;
 g là gia tốc trọng trường, g = 9,81 m/s²;
 Từ đó có P = Q.g = 14.715 N (q là trọng lượng bản thân của dầm).

Sơ bộ chọn tiết diện của dầm có dạng chữ I theo tiêu chuẩn ISO 657/15-SB 120x12-2580. Sử dụng phần mềm Inventor để xác định khối lượng riêng tiêu chuẩn có 11,5 kg/m. Với g = 9.81 m/s², có q = 112,815 N/m.

Thông số mặt cắt của thép chữ I, tra bảng.
 - Diện tích mặt cắt F = 14,7 cm²;
 - Mô men quán tính của trục ox:
 J_x = 342cm⁴;
 - Mô men chống uốn của trục ox:
 W_x = 57cm³;
 - Thông số H = 120mm; B = 60 mm,
 t = 7,6mm, T = 5,6mm.

Chọn vật liệu chế tạo dầm là thép CT5 có giới hạn bền chịu uốn [σ] = (500 – 640) (N/mm²), độ giãn dài tương đối δ = 17%.

b. Tính toán mô men và ứng suất

Viết phương trình cân bằng tĩnh học xác định phản lực R₁ và R₂:

$$\begin{cases} \sum F_x : R_1 + R_2 - P - q.L = 0 \\ \sum M_B : R_1.L - P(L-x) - q.\frac{L^2}{2} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{P(L-x) + q.\frac{L^2}{2}}{L} \\ R_2 = P.\frac{x}{L} + q.\frac{L}{2} \end{cases}$$

Biểu thức xác định mô men theo x: $M_{Max} = R_1.x - q.\frac{x^2}{2}$

Biểu thức xác định ứng suất theo x: $\sigma_1 = \frac{M_{max}}{W_x}$

Điều kiện bền khi: $\sigma_1 < [\sigma]$

Bảng 1. Tổng hợp phản lực gối đỡ, mô men, ứng suất tại các tiết diện tính toán

Tiết diện	x (m)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	M _{max} (N.m)	σ 10 ⁶ (N/m ²)
0	0	14.856	141	0	0
1	0,25	13.385	1.673	3.343	58,64
2	0,50	11.913	3.084	5.942	104,25
3	0,75	10.442	4.556	7.799	136,83
4	1,00	8.970	6.027	8.914	156,39
5	1,25	7.499	7.499	9.285	162,89
6	1,50	6.027	8.970	8.914	156,39
7	1,75	4.556	10.442	7.799	136,83
8	2,00	3.084	11.913	5.942	104,25
9	2,25	1.673	13.385	3.343	58,64
10	2,50	141	14.856	0	0

Từ Bảng 1 nhận thấy, giá trị ứng suất cho phép lớn nhất là tại vị trí chính giữa dầm ngang σ = 162,89 N/m². So sánh với tiêu chuẩn loại thép chọn làm dầm đảm bảo dầm đủ bền.

3.1.2.2. Tính toán thiết kế trụ đứng:

a. Xây dựng sơ đồ và phân tích lực tác dụng

Căn cứ vào phương án thiết kế đã chọn và kết quả phân tích lực, sơ đồ lực tác dụng lên trụ đứng như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ lực tác dụng lên trụ đứng

Trong đó:

R là Lực tác dụng của dầm ngang chính lên trụ, R tra bảng tiêu chuẩn Việt Nam TCVN1765:1975 quy định mác thép các bon thường loại A ta có R trong trường hợp lớn nhất $R = 14.856 \text{ N}$;

R' là khoảng phản lực của mặt đất lên trụ đứng. Trong trường hợp này trụ đứng chỉ chịu nén nên $R = R'$.

Sơ bộ chọn tiết diện của trụ đứng có dạng hình hộp chữ nhật, theo tiêu chuẩn ISO 4019-80x40x2.

Thông số mặt cắt của thép hộp chữ nhật được xác định như sau:

- Diện tích mặt cắt $F = 454 \text{ mm}^2$;

b. *Tính toán kiểm nghiệm bền cho trụ*

- Tính toán ứng suất do lực nén dọc lên mặt

cắt ngang: $\sigma_n = \frac{R_{\max}}{F}$

Trong đó:

R_{\max} là lực lớn nhất của dầm ngang tác dụng lên trụ đứng trong các trường hợp tính toán. Tra bảng tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1765:1975 quy định mác thép các bon thường loại A ta có $R_{\max} = 14.856 \text{ N}$

Thay số: $\sigma_n = \frac{R_{\max}}{F} = 32,72 \text{ N/mm}^2$

Vậy kích thước trụ được chọn đảm bảo bền.

3.1.3. Kiểm nghiệm bền tổng thể cầu trục bằng phần mềm Autodesk Inventor

a. Mô phỏng cơ hệ bằng phần mềm

Trong quá trình tính toán, thiết kế lý thuyết, thường chỉ tính toán được các chi tiết chính và thường tính toán riêng lẻ các chi tiết. Trong thực tế, các vị trí liên kết, lắp ghép nhiều khi sẽ chịu ứng suất lớn hơn giá trị cho phép của vật liệu. Để kết quả thiết kế được chính xác, cần tiến hành kiểm nghiệm bền tổng thể cơ hệ.

Việc tính toán, kiểm nghiệm bền cho cơ hệ bằng phương pháp thủ công đòi hỏi rất nhiều thời gian và công sức, đôi khi vẫn không đem lại kết quả chính xác nhất. Hiện nay, các phần mềm ứng dụng cho lĩnh vực tính toán thiết kế đã hỗ trợ cho các nhà thiết kế rất nhiều, đảm bảo độ chính xác cao.

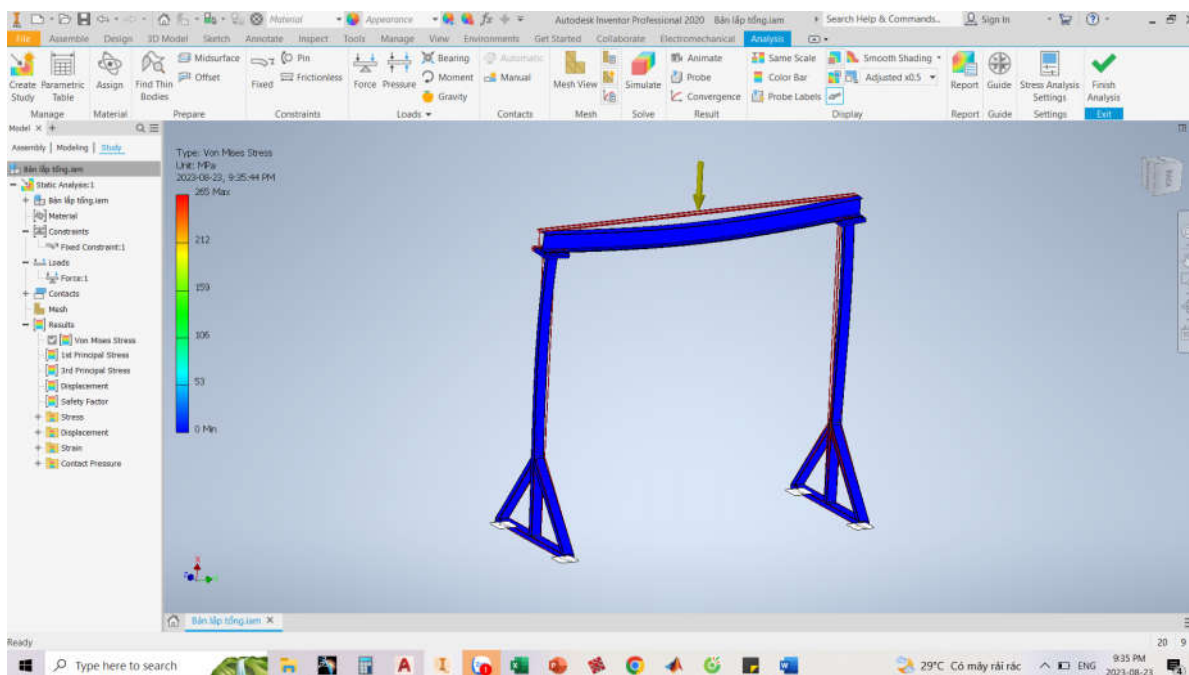
Bài báo trình bày kết quả kiểm nghiệm bền cho cầu trục bằng phần mềm Autodesk Inventor với hai tham số đầu ra quan tâm là ứng suất và biến dạng.

Các thủ tục kiểm nghiệm bền được thực hiện theo các bước sau:

- Thiết kế các chi tiết: Sử dụng các thông số đầu vào của bài toán thiết kế đã nghiên cứu, tiến hành xây dựng mô hình 3D các chi tiết của cầu trục.

- Lắp ghép cơ hệ: Ứng dụng mô đun lắp ghép để gán các ràng buộc và lắp ghép các chi tiết của cầu trục tạo ra bản lắp hoàn chỉnh cầu trục.

- Thực hiện thủ tục phân tích cơ hệ: Lựa chọn môi trường Stress Analysis để thiết lập, phân tích và kiểm nghiệm bền cầu trục.

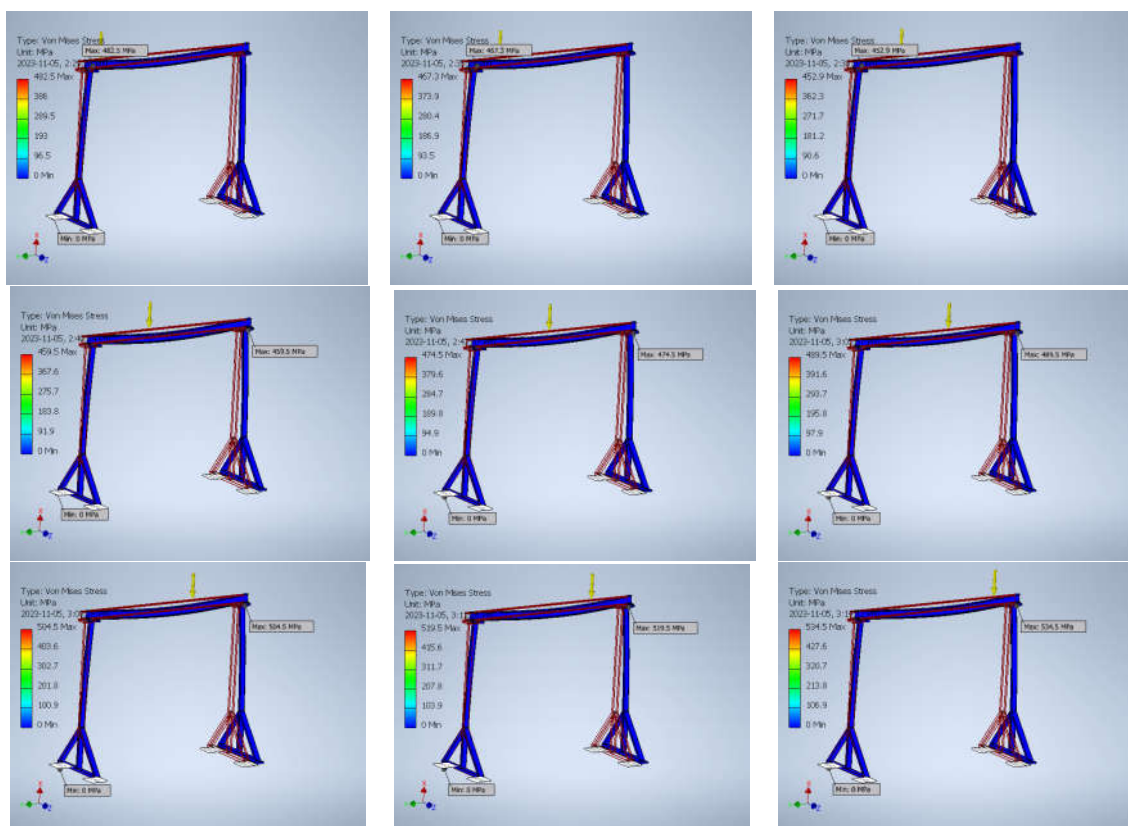


Hình 5. Hiện thị kết quả tính toán trong Inventor

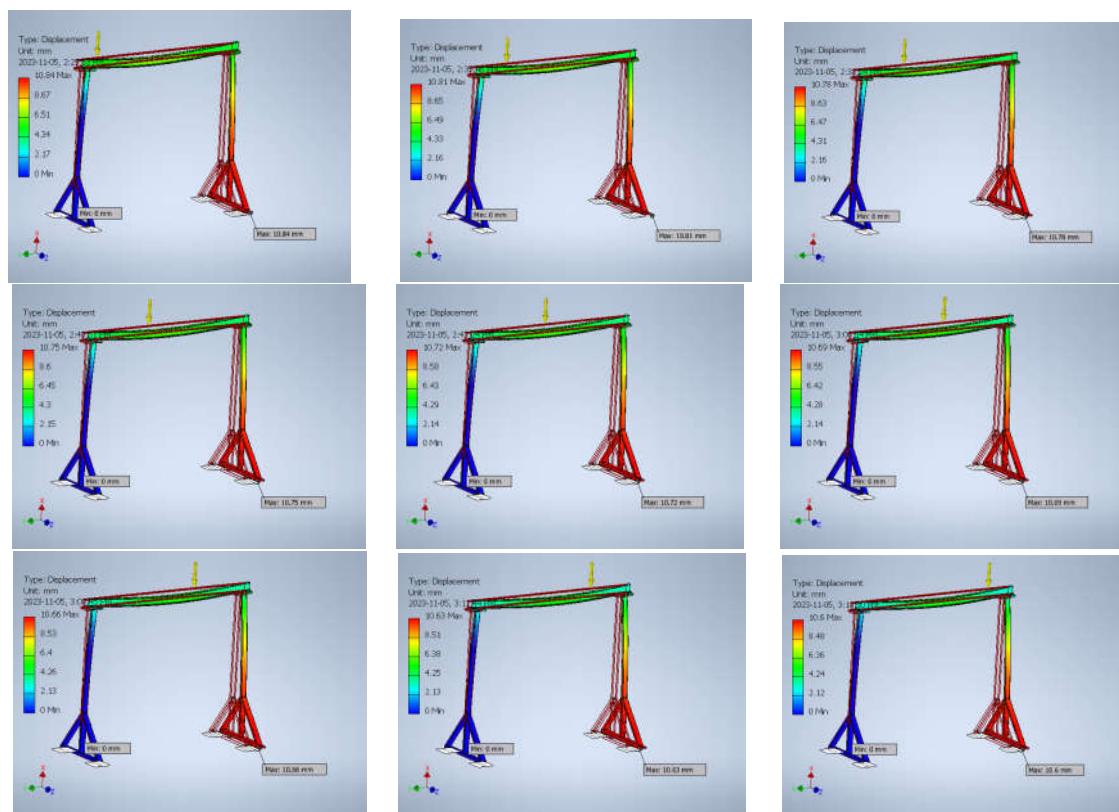
b. Kết quả mô phỏng

Thực hiện lệnh Report và trích xuất kết quả khảo sát trong các trường hợp điểm đặt lực

thay đổi. Kết quả trong các trường hợp lần lượt như Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Ứng suất tổng hợp của cơ hệ tương ứng các vị trí đặt tải khác nhau



Hình 7. Biến dạng tổng hợp của cơ hệ tương ứng các vị trí đặt tải khác nhau

Bảng 2. Tổng hợp giá trị ứng suất và biến dạng của cơ hệ với các vị trí đặt lực khác nhau

Tiết diện	x (m)	σ 10^6 (N/m ²)	Biến dạng
1	0,25	482,5	10,84
2	0,50	467,3	10,81
3	0,75	452,9	10,78
4	1,00	459,5	10,75
5	1,25	474,5	10,72
6	1,50	489,5	10,69
7	1,75	504,5	10,66
8	2,00	519,5	10,63
9	2,25	534,5	10,60

Từ kết quả tổng hợp và hình ảnh mô phỏng cho thấy:

- Ứng suất lớn nhất của cơ hệ là trường hợp 9 tại vị trí liên kết giữa mặt bích và trụ số 2. Giá trị ứng suất là 534,5 N/m² vẫn nhỏ hơn giá trị ứng suất cho phép của vật liệu CT5.

- Biến dạng lớn nhất là của cơ hệ là trường hợp 1 tại vị trí chân đế di động trụ số 2. Giá trị biến dạng lớn nhất là 10,84 mm nằm trong giới hạn cho phép của vật liệu CT5.

Từ các kết quả trên, có thể kết luận cơ hệ đảm bảo bền.

4. KẾT LUẬN

Qua việc nghiên cứu, nhóm tác giả đã tính toán, thiết kế được cầu trục di động cỡ nhỏ phục vụ nâng hạ với tải trọng lớn nhất là 1.500 kg. Qua khảo nghiệm thực tế cho thấy, cầu trục cỡ nhỏ di động có ưu điểm là khả năng linh động trong không gian hẹp của xưởng sửa chữa, có tính ổn định và an toàn cao, phù hợp với tình thực tế, quy mô và điều kiện đầu tư của xưởng thực tập tại Trường Đại học Lâm nghiệp.

Kết quả nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng thực nghiệm đã chứng minh kết cấu của cầu

trục đảm bảo chịu bền theo điều kiện ứng suất và biến dạng. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, phương pháp tính toán lý thuyết thường khó tính toán tổng hợp được toàn bộ các vị trí, các liên kết của cơ hệ. Bằng việc sử dụng phần mềm máy tính trong việc thiết kế giúp tìm ra những khâu yếu nhất của cơ hệ, từ đó có giải pháp gia cố, tránh được các rủi ro và tăng bền cho cơ hệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Camelia Pinca Bretotean, Ovidiu Gelu Tiran, Ana Virginia Socalici & Erika Diana Ardelean (2009).

Dimensional optimization for the strength structure of a traveling crane. Wseas transactions on applied and theoretical mechanics. 4(4): 147-156.

[2]. D.Gaska & C.Pypno (2011). Strength and elastic stability of cranes in aspect of new and old design standards. Mechanika. 17: 226-231.

[3]. Hoàng Mạnh Cường (2020). Tính toán dao động của cầu trục có kể đến khối lượng của móc treo – ròng rọc. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. 63: 31-34.

[4]. Dương Trường Giang & Hà Thẩm Phán (2014). Nghiên cứu tính toán các thông số hình học hợp lý kế cấu thép cầu trục dạng hộp có xét đến sự ảnh hưởng điều kiện ổn định cục bộ. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 21: 36-43.