

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Tính toán, thiết kế kết cấu thép công trục phục vụ cho máy khoan hầm TBM khi thi công tuyến hầm ngầm của dự án đường sắt đô thị

Calculation and design steel structures of gantry crane serving tbm tunnel drilling machines during construction of underground tunnel lines for urban railway projects

► PGS. TS Bùi Thanh Danh

Trường Đại học giao thông vận tải

Email: Danhdaiduong@utc.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 27/3/2026

Ngày sửa bài: 12/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 20/4/2026

Ngày xuất bản Online: 29/4/2026

Tác giả liên hệ:

Email: danhdaiduong@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày tóm tắt các kết quả nghiên cứu, tính toán thiết kế công trục chuyên dùng phục vụ thi công tuyến hầm ngầm bằng máy khoan hầm TBM tại dự án đường sắt đô thị. Từ đó đưa ra các đề xuất, giải pháp thiết kế và khai thác hợp lý thiết bị này.

Từ khóa: Thiết kế công trục, công trục chuyên dùng, công trục phục vụ thi công hầm.

ABSTRACT

This paper summarizes the research results and design calculations for a specialized gantry crane used in the construction of underground tunnels using a TBM (Tunnel Boring Machine) in the urban railway project. From there, proposals and technical solutions for the design and exploitation of this device are provided.

Keyword: Design gantry crane, specialized gantry cranes, equipments for TBM, underground tunnels, serving TBM tunnel drilling machines.

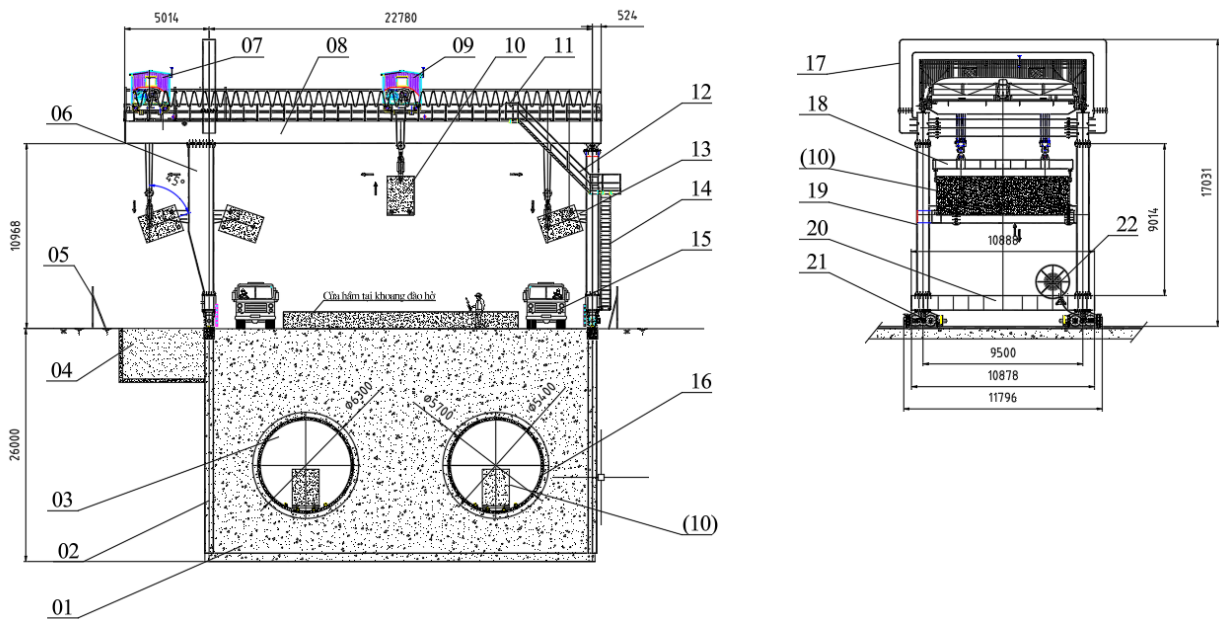
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên thế giới hiện nay công nghệ thi công hầm bằng máy đào TBM (Tunnel Boring Machine) đã được sử dụng rất nhiều tại các dự án đào hầm ngầm nhất là đối với các dự án đào hầm ngầm cho tuyến Metro đô thị. Đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến địa chất, vỏ kết cấu công trình hầm ngầm khi thi công bằng máy đào TBM [1],[2],[4] một số nghiên cứu về ảnh hưởng của địa chất công trình tới độ mài mòn của thiết bị khi đào trong máy khoan TBM, cũng như ảnh hưởng của điều kiện địa chất tới hiệu quả khai thác máy đã được đề cập tới [3].

Trong các tài liệu đã công bố đều chỉ mới đề cập đến vấn đề xử lý và vận chuyển bùn thải trong nội bộ khoan đào của máy TBM [3],[5],[6] (thường vận chuyển bằng băng tải và vít tải), tác giả chưa thấy có công trình nghiên cứu nào được công bố liên quan đến công nghệ vận chuyển bùn thải từ đáy khoang đào lên trên mặt đất để vận chuyển đi xử lý, đặc biệt là các công bố nghiên cứu liên quan đến sử dụng cổng trục trong công nghệ vận chuyển bùn thải tại các tuyến hầm ngầm của dự án đường sắt đô thị hiện tại chưa thấy có tài liệu nào được công bố.

Một số tác giả nước ngoài [1],[2],[3], các tác giả trong nước đã công bố các kết quả nghiên cứu liên quan đến tính toán động lực học, điều khiển, kết cấu thép, phần mềm thiết kế cần trục, cầu trục có công dụng chung sử dụng trong công nghiệp [7],[8], phần mềm thiết kế cổng trục chân dê chuyên dùng trong thủy điện cũng đã được công bố [9]. Thiết kế chuẩn và quy trình công nghệ chế tạo cổng trục đã được công bố trong tài liệu [10] tuy nhiên kết quả nghiên cứu này chỉ áp dụng được với các loại cổng trục có công dụng chung. Các nghiên cứu, tính toán, thiết kế loại cổng trục chuyên dùng phục vụ việc vận chuyển bùn thải tại các tuyến hầm ngầm của dự án đường sắt đô thị khi thi công bằng máy đào TBM tác giả chưa thấy công bố. Do vậy việc nghiên cứu tính toán, thiết kế kết cấu thép của loại cổng trục này là một phần quan trọng trong qui trình tính toán, thiết kế loại cổng trục chuyên dùng phục vụ việc vận chuyển bùn thải tại các tuyến hầm ngầm của dự án đường sắt đô thị khi thi công bằng máy đào TBM.

Để có thể thiết kế được thiết bị này chúng ta cần phải hiểu được công dụng, cấu tạo của thiết bị để từ đó đề ra được phương pháp tính toán đúng đắn, sát với yêu cầu làm việc thực tế của thiết bị. Cấu tạo của cổng trục được trình bày trên Hình 1.



01 khoang đào hờ; 02 thành vách bê tông khoang đào hờ; 03 ống hầm thứ nhất; 04 bể chứa bùn thải; 05 hàng rào chắn; 06 chân chính cổng trục; 07 xe tời 45 T (01); 08 dầm chính cổng trục; 09 xe tời 45 T (02); 10 thùng chứa bùn thải; 11 hệ cấp điện xe tời; 12 cầu thang bộ; 13 cảm đỡ thùng chứa bùn thải; 14 cầu thang; 15 xe ôtô chở bùn thải;

16 ống hầm thứ hai; 17 hệ giằng khóa dầm chính; 18 dầm nâng thùng chứa bùn thải; 19 chân phụ; 20 dầm đỡ chân công trục; 21 cụm di chuyển; 22 hệ cấp điện cho công trục.

Hình 1. Tổng thể công trục.

Nguyên lý làm việc như sau: Máy đào TBM sẽ tiến hành đào cắt đất, đá và hòa trộn với dung dịch khoan tạo thành hỗn hợp bùn thải sau đó sẽ được hệ thống vít tải vận chuyển lên đổ vào hệ thống sàng của máy đào TBM (để tách riêng nước và vật liệu), vật liệu sau khi tách sẽ được cấp vào hệ thống băng tải hoặc đổ vào xe skip và vận chuyển ra phía sau máy đào rồi sau đó xả xuống các thùng chứa bùn thải (10) được đặt trên các toa xe di chuyển trên hệ thống đường ray đặt sẵn trong ống hầm đã khoan và di chuyển về phía khoan đào hở. Tại vị trí khoang đào hở, người điều khiển sẽ điều khiển để cụm tời nâng sẽ hạ dầm nâng (18) xuống phía dưới đáy của khoang đào hở và sau đó nâng thùng chứa bùn (10) lên trên thoát khỏi miệng khoang đào, tiếp tục di chuyển xe tời (07) để vận chuyển (10) tới vị trí dầm đỡ (13), sau khi các tai đỡ tại đáy thùng (10) đã nằm ở trí cố định trên dầm đỡ công xon (13), điều khiển cơ cấu nâng của tời (07) hạ cụm dầm nâng (18) khi đó bùn thải sẽ được trút ra khỏi thùng chứa (10) xuống bể chứa bùn (04) hoặc đổ lên ô tô chuyên dụng chở bùn (15).

2. NỘI DUNG TÍNH TOÁN

2.1. Xác định thông số kỹ thuật

Dựa trên yêu cầu của công nghệ thi công [11],[12] mặt bằng thi công, yêu cầu về kích thước hình học của thùng chứa bùn thải, tải trọng hàng nâng cần thiết và các qui định, tiêu chuẩn thiết kế thiết bị nâng [13],[14] tác giả đã tính toán lựa chọn một số thông số cơ bản của công trục như sau:

- Tải trọng hàng nâng lớn nhất: $Q = (45 + 45)$ tấn; khẩu độ công trục $L_k = 22,7$ m; chiều cao nâng lớn nhất $H_{\text{nâng}} = 28$ m (trong đó, có 18 m chiều cao nâng nằm phía dưới mặt nền); vận tốc nâng hàng $V_{\text{nâng}} = 11$ m/ph, vận tốc di chuyển xe tời thùng chứa bùn thải $V_{\text{dc}} = 20$ m/ph; Vận tốc di chuyển công trục khi làm việc với tải danh nghĩa $V_{\text{dc}} = 20$ m/ph.

2.2 Tính toán, thiết kế kết cấu thép

Để tính toán, thiết kế kết cấu thép của công trục tác giả đã sử dụng phần mềm SAP 2000.

Đối với mỗi trường hợp tính toán (tương ứng với các vị trí khác nhau của tải trọng), trình tự tính toán như sau:

- Xây dựng mô hình (Xác định thông số hình học, gán sơ bộ chủng loại vật liệu cho các thanh);
- Xác định các tải trọng tác dụng và tổ hợp tải trọng tác dụng lên kết cấu;
- Giải bài toán bằng phần mềm SAP 2000;
- Xác định các vị trí nguy hiểm trong các thanh của kết cấu công trục;
- Tính toán kiểm tra bền cho các thanh (nếu đạt thì giữ nguyên chủng loại vật liệu, nếu chưa đạt thì thay thế bằng chủng loại vật tư khác).

2.3. Tải trọng tác dụng

Căn cứ theo tài liệu [15], tác giả đã tính toán các tải trọng tác dụng lên công trục:

a. Tải trọng hàng nâng Q_{DN}

- Tải trọng hàng nâng $Q_{DN} = G_h + G_m$

G_h - Khối lượng bùn được chứa trong thùng $G_h = V_{TC} \cdot \gamma = 22 \cdot 1,4 = 30,8$ (Tấn)

V_{TC} - Thể tích thùng chứa $V_{TC} = 22$ (m^3); γ - Khối lượng riêng bùn thải $\gamma = 1,4$ (Tấn/ m^3)

G_m - Khối lượng bản thân của thùng chứa bùn $G_m = 14,2$ (Tấn)

Trọng lượng hàng nâng $Q_{DN} = (G_h + G_m) \cdot g = (30,8 + 14,2) \cdot 1000 \cdot 9,81 = 441450$ (N)

b. Tải trọng bản thân G_{bt}

Bảng 1. Trọng lượng một số bộ phận kết cấu của công trục

Kết cấu	Kí hiệu	Khối lượng (kg)	Trọng lượng (N)
Thùng chứa bùn thải (có chứa bùn thải)	Q_{DN}	45000	441450
Xe tời 45 T (01 xe tời)	G_{xt}	8000	78480
Dầm chính (02 dầm)	G_{dc}	31846	312409
Chân chính công trục (02 chân)	G_{ch1}	8422	82619
Chân phụ công trục (02 chân)	G_{ch2}	6340	62195
Dầm đầu (02 dầm)	G_{dd}	6178	60606
Giằng chân	G_{gch}	2733	26810
Giằng chân (cổng chào)	G_{coch}	3466	34001
Cụm di chuyển (04 cụm bánh xe, bánh răng, động cơ)	G_{dc}	4000	39240

Tải trọng bản thân của công trục được tổng hợp theo Bảng 2.

Bảng 2. Tải trọng tập trung và tải trọng phân bố do trọng lượng bản thân

Loại tải trọng	Kí hiệu tải tập trung	Tải tập trung (N)	Kí hiệu tải phân bố	Giá trị tải phân bố trên 01 kết cấu (N/mm)
Trọng lượng thùng chứa bùn thải (có chứa bùn thải)	Q_{DN}	441450		
Trọng lượng xe tời 45 T (01 xe tời)	G_{xt}	78480		
Trọng lượng dầm chính (02 dầm)	G_{dc}	312409	q_{dc}	5,92
Trọng lượng chân chính công trục (02 chân)	G_{ch1}	82619	q_{ch1}	4,348

Trọng lượng chân phụ cổng trục (02 chân)	G_{ch2}	62195	q_{ch2}	3,27
Trọng lượng dầm đầu (02 dầm)	G_{dd}	60606	q_{dd}	2,754
Trọng lượng giằng chân	G_{gch}	26810	q_{gch}	1,54
Trọng lượng giằng chân (cổng chào)	G_{coch}	34001	q_{coch}	2,83
Trọng lượng cụm di chuyển (04 cụm bánh xe, bánh răng, động cơ)	G_{dc}	39240		

c. Tải trọng tính toán khi nâng - hạ hàng Q_{TT}

$$Q_{TT} = \Psi (G_h + G_m).g \quad (N) \tag{1}$$

Theo tài liệu [6] với vận tốc nâng $V_n = 11$ m/ph tính chọn được $\Psi = 1,25$).

$Q_{TT} = \Psi (G_h + G_m).g = 1,25.(30,8 + 14,2).1000.9,81 = 551.812$ (N). Tải trọng tác dụng lên 01 bánh xe của xe tời $P_{xt} = Q_{TT} / 4$. Vậy $P_{xt} = 551812 / 4 = 137953$ (N)

d. Tải trọng quán tính F_{qt}

- Tải trọng quán tính khi di chuyển cổng trục và di chuyển xe tời (có hàng)

$$F_{qt} = m.g.a \quad (N); \tag{2}$$

(Theo tài liệu [6] $V_n = 20$ m/ph tương đương $0,33$ m/s với $a = 0,089$ m/s². $G = 9,81$ m/s²)

Bảng 3. Tải trọng quán tính tập trung và phân bố tác dụng lên kết cấu cổng trục

Loại tải trọng	Kí hiệu tải tập trung	Tải tập trung (N)	Giá trị tải phân bố trên 01 kết cấu (N/mm)	Kí hiệu tải phân bố
Tải trọng quán tính do trọng lượng của thùng chứa bùn thải (có chứa bùn thải) và xe tời khi cổng trục di chuyển dọc đường ray. Tác dụng vuông góc với dầm chính tại điểm chính giữa dầm chính	F_{qt1}	171576		
Tải trọng quán tính do trọng lượng của thùng chứa bùn thải (có chứa bùn thải) và xe tời 45 T (01 xe tời) khi di chuyển dọc dầm chính. Tác dụng tại điểm đầu dầm dọc theo với dầm chính	F_{qt2}	171576		
Tải trọng quán tính dầm chính (01 dầm) khi cổng trục di chuyển dọc	F_{qt3}	51547	1,954	q_{qt1}

đường ray. Tác dụng vuông góc với dầm chính				
Tải trọng quán tính chân chính cổng trục (01 chân) khi cổng trục di chuyển dọc đường ray. Tác dụng lên chân chính theo hướng dọc đường ray di chuyển	F_{qt4}	18055	5,76	q_{qt2}
Tải trọng quán tính chân phụ cổng trục (01 chân) khi cổng trục di chuyển dọc đường ray. Tác dụng lên chân phụ theo hướng dọc đường ray di chuyển	F_{qt5}	44502	4,68	q_{ch3}

- Tải trọng quán tính F_{qt1} , F_{qt2} , xảy ra khi phanh hãm được coi như lực tập trung tác dụng lên dầm chính. F_{qt3} , F_{qt4} , F_{qt5} xảy ra khi phanh hãm được coi như lực phân bố đều lên các bộ phận kết cấu chân, dầm chính của cổng trục

d. Tải trọng gió F_g

(3)

Tải trọng gió được tính theo công thức chung $F_g = F_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot q_0$ (N)

F_0 : Diện tích chịu gió (m^2); k_1 : Hệ số diện tích chịu gió của mặt cắt kết cấu; k_2 : Hệ số tính đến chiều cao chịu gió của kết cấu; q_0 : Áp lực gió đơn vị lên kết cấu (N/m^2).

- Tải trọng gió tác dụng lên dầm chính (theo phương vuông góc với dầm chính) $F_{g1} = F_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot q_0$.

F_0 : Diện tích chịu gió của dầm chính $F_0 = h \cdot L_{dc} = 1,8 \cdot 26,368 = 47,46$ (m^2); $k_1=1$ (Dầm chính là dạng dầm hộp kín, trục cao 1800 mm, rộng 750 mm, dài 26368 mm), $k_2 = 1$ (Chiều cao của kết cấu chịu gió $H = 11$ mét). $q_0 = 250$ (N/m^2). Khi đó $F_{g1} = F_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot q_0 = 47,46 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 250 = 14656$ (N).

- Tính toán tương tự tác giả thu được kết quả như Bảng 4. Tải trọng gió tác dụng lên phương dọc với hàng nâng (Có thể bỏ qua do tiết diện chịu gió của hàng theo phương này nhỏ)

Bảng 4. Tải trọng gió tập trung tác dụng lên cổng trục.

Tên gọi	Tải trọng gió tập trung		Tải trọng gió phân bố	
	Kí hiệu	Giá trị (N)	Kí hiệu	Giá trị (N/mm)
Trọng gió tác dụng lên dầm chính (theo phương vuông góc với dầm chính)	F_{g1}	14656	q_{g1}	0,555
Tải trọng gió tác dụng lên dầm chính (theo phương dọc với dầm chính)	F_{g2}	337,5	q_{g2}	
Tải trọng gió tác dụng lên hàng nâng (theo phương vuông góc thùng chứa bùn thải)	F_{g3}	4600	q_{g3}	

Tải trọng gió tác dụng lên chân chính của cổng trục (theo phương vuông góc với dầm chính)	F_{g4}	2671	q_{g3}	0,281
Tải trọng gió tác dụng lên chân phụ của cổng trục (theo phương vuông góc với dầm chính)	F_{g5}	1781	q_{g4}	0,187

F_{g1} - Trọng gió tác dụng lên dầm chính (theo phương vuông góc với dầm chính); F_{g2} - Tải trọng gió tác dụng lên dầm chính (theo phương dọc với dầm chính); F_{g3} - Tải trọng gió tác dụng lên hàng nâng (theo phương vuông góc với chiều dài của thùng chứa bùn thải); F_{g4} - Tải trọng gió tác dụng lên chân chính của cổng trục (theo phương vuông góc với dầm chính); F_{g5} - Tải trọng gió tác dụng lên chân phụ của cổng trục (theo phương vuông góc với dầm chính). Tải trọng gió F_{g2} , F_{g3} được coi như là tải tập trung tác dụng lên chân cổng trục ở vị trí đỉnh của chân $h_{ch} = 9500$ mm.

e. Tổ hợp tải trọng

Tổ hợp tải trọng tác dụng lên kết cấu bao gồm: Tải trọng bản thân, tải trọng của bộ tời nâng, tải trọng gió, tải trọng hàng nâng, tải trọng động do quá trình phanh hãm hàng và di chuyển cổng trục.

- Tổ hợp bao gồm: (Tĩnh tải + Tải trọng gió) tác dụng đồng thời lên kết cấu theo hướng bất lợi.

2.4 Trường hợp tính

- Trường hợp 1: 02 xe tời của cổng trục đứng tại vị trí hạ hàng gần dầm công xon (01 xe tời đứng sát chân phụ, 01 xe tời đứng vị trí ngoài công xon dầm chính), đồng thời thực hiện nâng hàng, thực hiện phanh hãm khi nâng hàng, chịu tác động của tải trọng gió tác dụng lên kết cấu, tải trọng quán tính khi di chuyển xe tời.

Các tải trọng tác dụng : $Q_{TT} + G_{bt} + F_g + F_{qt}$

- Tải trọng hàng nâng Q_{TT} được phân chia đều cho 02 xe tời (tải trọng nâng danh nghĩa của mỗi xe tời sẽ là 45 tấn thông qua 04 cụm bánh xe truyền tác động lên dầm chính tại vị trí đứng của xe tời ứng với vị trí tâm của móc treo của thùng chứa bùn thải). Tải trọng bản thân G_{bt} (G_{bt1} , G_{bt2} , G_{bt3} ...) các tải trọng này được coi là phân bố đều lên các bộ phận kết cấu. Tải trọng quán tính F_{qt} (F_{qt2}) phát sinh khi các xe tời di chuyển (có tải nâng) dần từ giữa dầm ra phía chân đỡ đồng thời kết hợp phanh hãm. Các lực này được coi như lực tập trung tác dụng lên phía đỉnh của chân đỡ.

- Trường hợp 2: 01 xe tời (45 tấn) của cổng trục thực hiện nâng hàng, thực hiện phanh hãm khi nâng hàng tại vị trí chính giữa của dầm chính, chịu tác động của tải trọng gió tác dụng lên kết cấu. Tải trọng quán tính khi xe tời di chuyển dọc dầm chính.

Các tải trọng tác dụng : $Q^1_{TT} + G_{bt} + F_g + F_{qt}$

- Tải trọng hàng nâng Q^1_{TT} tải trọng tính toán cho 01 xe tời (tải trọng nâng danh nghĩa của 01 xe tời sẽ là 45 tấn thông qua 04 cụm bánh xe truyền tác động lên dầm chính tại vị trí chính giữa dầm ứng với vị trí tâm của móc treo của thùng chứa bùn thải). Tải trọng bản thân G_{bt} (G_{bt1} , G_{bt2} , G_{bt3} ...) các tải trọng này được coi là phân bố đều lên các bộ phận kết cấu. Tải trọng quán tính F_{qt} (F_{qt2}) phát sinh khi các xe tời di chuyển (có

tải nâng) dần từ giữa dầm ra phía chân đỡ đồng thời kết hợp phanh hãm. Lực này được coi như lực tập trung tác dụng lên phía đỉnh của chân đỡ

- Trường hợp 3: 02 xe tời của cổng trục đứng tại vị trí hạ hàng gần dầm công xon (01 xe tời đứng sát chân phụ, 01 xe tời đứng vị trí ngoài công xon dầm chính), đồng thời thực hiện hạ hàng xuống dầm công xon của chân đỡ (cáp tải chùng), thực hiện phanh hãm khi hạ hàng, chịu tác động của tải trọng gió tác dụng lên kết cấu.

Các tải trọng tác dụng: $Q_{TT} + G_{bt} + F_g + F_{qt}$

- Tải trọng hàng nâng Q_{TT} được phân chia đều cho 02 xe tời (tải trọng nâng của mỗi xe tời sẽ là 45 tấn thông qua 04 cụm bánh xe truyền tác động lên dầm chính tại vị trí đứng của xe tời ứng với vị trí tâm của móc treo của thùng chứa bùn thải). Tải trọng bản thân G_{bt} ($G_{bt1}, G_{bt2}, G_{bt3}...$) các tải trọng này được coi là phân bố đều lên các bộ phận kết cấu.

- Trường hợp 4: 02 xe tời của cổng trục đứng tại vị trí hạ hàng gần dầm công xon (01 xe tời đứng sát chân phụ, 01 xe tời đứng vị trí ngoài công xon dầm chính). Cổng trục di chuyển cùng hàng nâng dọc theo đường ray, đồng thời thực hiện phanh hãm khi di chuyển, chịu tác động của tải trọng gió, tải trọng quán tính khi phanh hãm trong quá trình di chuyển cổng trục.

Các tải trọng tác dụng: $Q_{TT} + G_{bt} + F_g + F_{qt}$

- Tải trọng gió F_g (F_{g1}, F_{g3}, F_{g4}). các tải trọng này được coi là phân bố đều tác dụng lên kết cấu theo phương vuông góc với dầm chính. Tải trọng quán tính F_{qt} ($F_{qt1}, F_{qt2}, F_{qt3}, F_{qt4}, F_{qt5}$) phát sinh cổng trục di chuyển dọc đường ray đồng thời kết hợp phanh hãm.

2.5. Ứng suất cho phép

$$[\sigma] = \frac{\sigma_c}{n} \tag{4}$$

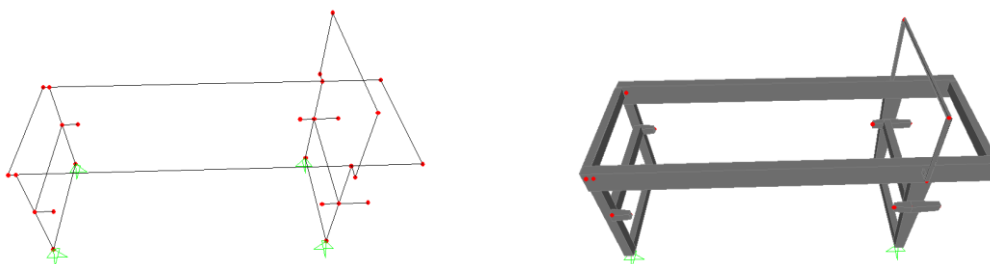
Trong đó:

σ_c : Giới hạn chảy của vật liệu (N/mm^2). Đối với vật liệu là thép SS400 có $\sigma_c = 240$ (N/mm^2); n : Hệ số an toàn. Đối với cổng trục đang xét, để tính toán bền cho phần kết cấu thép trong trường hợp nguy hiểm nhất là nâng hàng với tải trọng lớn nhất, đồng thời chịu cả tải trọng gió thì theo tiêu chuẩn TCVN-4424-2005, tài liệu [14] giá trị $n = 1,5$.

Vậy giá trị ứng suất cho phép: $[\sigma] = \frac{\sigma_c}{n} = \frac{240}{1,5} = 160$ (N/mm^2)

2.6. Xây dựng mô hình tính toán

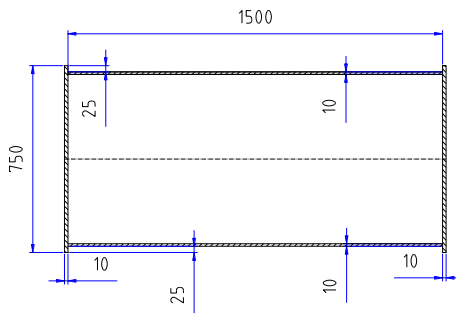
Bài toán được mô hình hóa trong phần mềm SAP 2000. Mô hình này được thể hiện trên Hình 2:



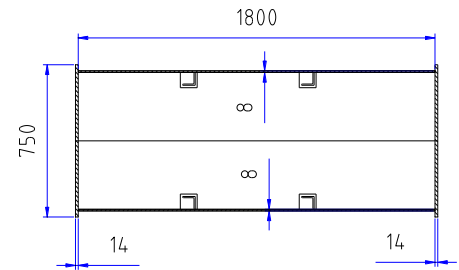
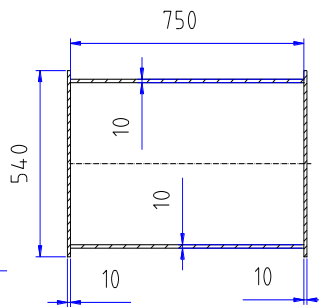
Hình 2. Mô hình cổng trục được xây dựng trong phần mềm SAP2000.

2.7. Xác định sơ bộ kích thước mặt cắt của các kết cấu điển hình

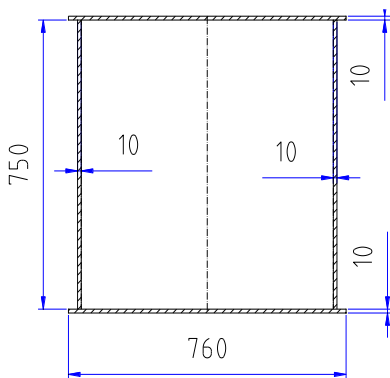
Căn cứ theo các hướng dẫn thiết kế trong tài liệu [13], [14] và hồ sơ kỹ thuật về công trực long môn của Công ty Cổ phần Sản xuất - Thương mại Đại Dương [15]. Các kích thước của những kết cấu cơ bản được thể hiện trên các Hình 3, Hình 4, Hình 5, Hình 6, Hình 7.



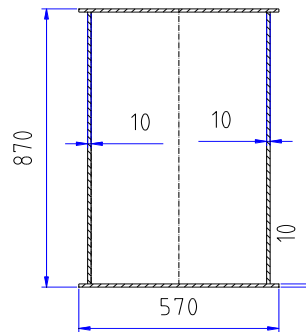
Hình 3. Mặt cắt chân chính bên trên và bên dưới.



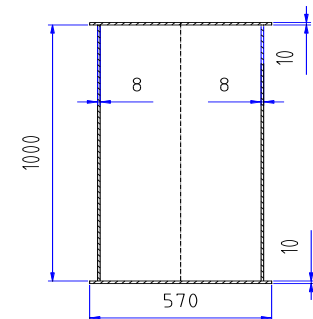
Hình 4. Mặt cắt dầm chính.



Hình 5. Mặt cắt chân



Hình 6. Mặt cắt dầm đầu.



Hình 7. Mặt cắt giằng chân.

Bảng 5. Đặc trưng hình học một số kết cấu.

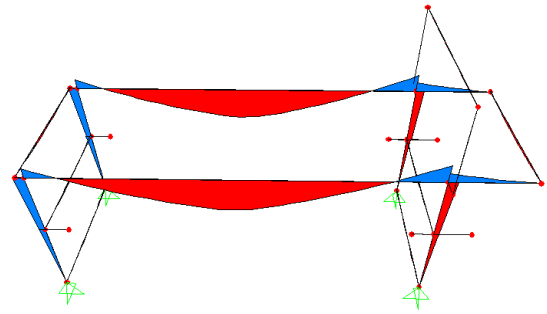
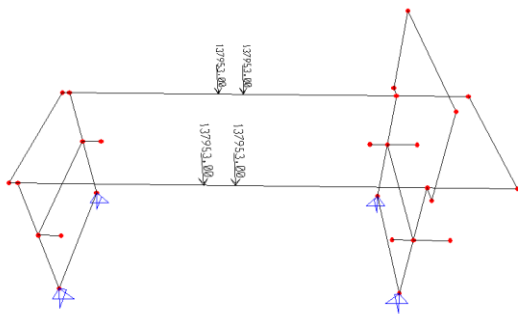
Tên cấu kiện	Diện tích mặt cắt F (mm ²)	Mômen quán tính J ₃₃ =J _x (mm ³)	Mômen quán tính J ₂₂ =J _y (mm ³)	Mômen chống uốn W ₃₃ = W _x (mm ³)	Mômen chống uốn W ₂₂ = W _y (mm ³)
Mặt cắt dầm chính	49352	2,4.10 ¹⁰	4,9.10 ⁹	26,67.10 ⁶	12,3.10 ⁵
Mặt cắt chân chính phía trên	44600	1,37.10 ¹⁰	4,7.10 ⁹	18,3.10 ⁶	12,5.10 ⁵
Mặt cắt chân chính phía dưới	29600	2,7.10 ⁹	2,7.10 ⁹	7,2.10 ⁵	7,2.10 ⁵
Mặt cắt chân phụ	28600	2,7.10 ⁹	3,1.10 ⁹	7,2.10 ⁵	8,2.10 ⁵

Mặt cắt giằng chân	31600	$4,5 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^9$	$9,0 \cdot 10^5$	$6,67 \cdot 10^5$
Mặt cắt dầm đầu	27000	$2,87 \cdot 10^9$	$1,22 \cdot 10^9$	$6,6 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$
Mặt cắt dầm công xon đỡ thùng chứa bùn	25600	$1,95 \cdot 10^9$	$1,54 \cdot 10^9$	$5,2 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$

2.8. Tính nội lực kết cấu

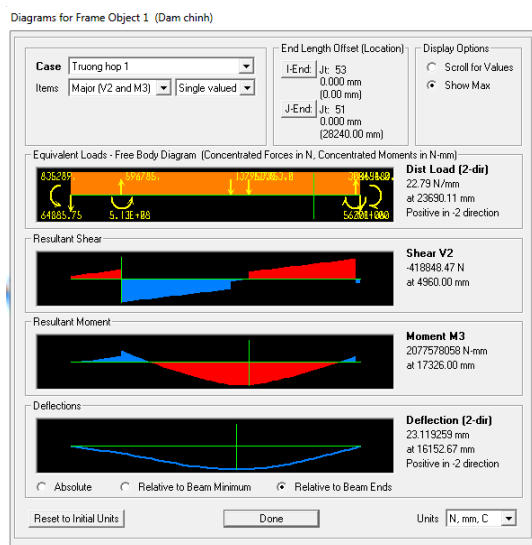
Qua phân tích trên phần mềm tính toán 04 trường hợp làm việc điển hình của kết cấu tác giả nhận thấy dầm chính chịu lực bất lớn nhất ứng với trường hợp 2, hệ chân chính được tính toán ứng với trường hợp 4, hệ chân phụ và dầm công xon được tính toán ứng với trường hợp 3. Biểu đồ và giá trị nội lực tại các vị trí nguy hiểm thể hiện như sau:

a. Dầm chính (Phần tử 01)

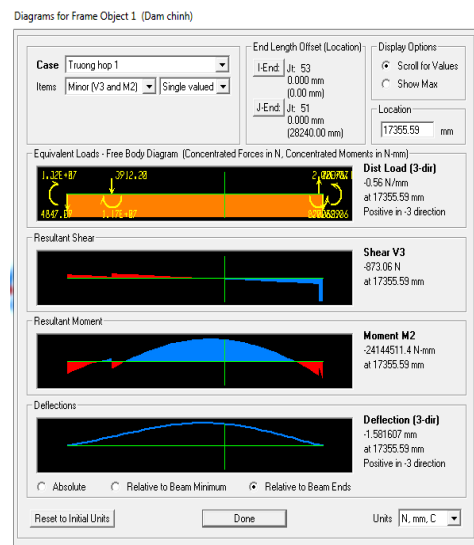


Hình 8. Sơ đồ lực tác dụng lên kết cấu.

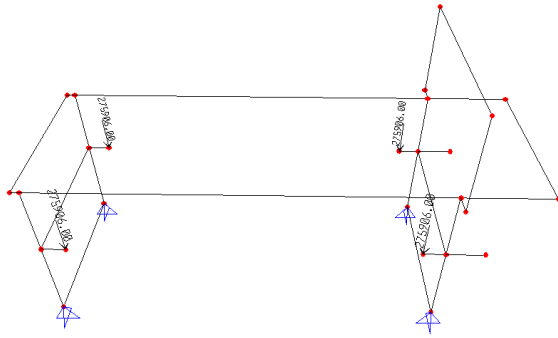
Hình 9. Biểu đồ mômen M_{33} .



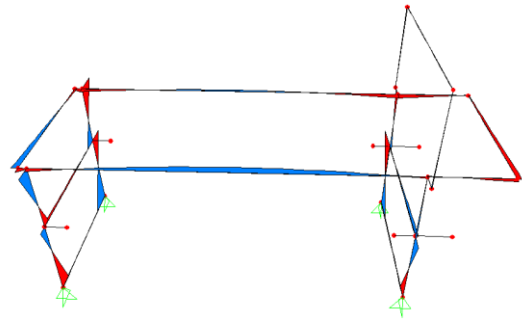
Hình 10. Mômen uốn M_{33} của dầm chính.
b. Chân đỡ



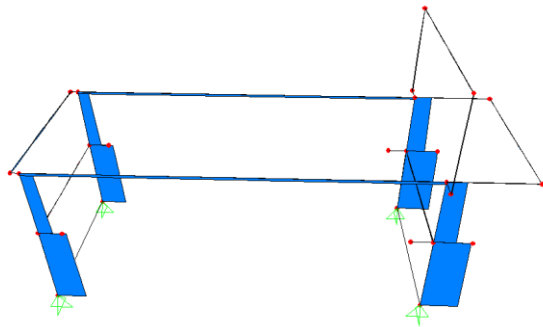
Hình 11. Mômen uốn M_{33} của dầm



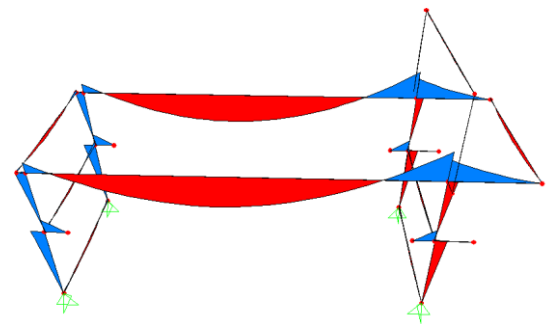
Hình 12. Sơ đồ lực tác dụng lên kết cấu.



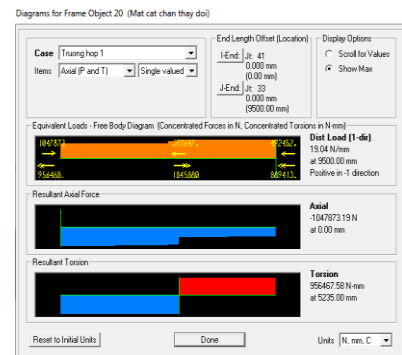
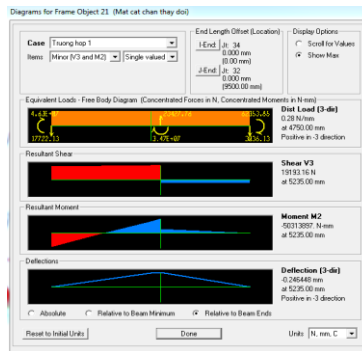
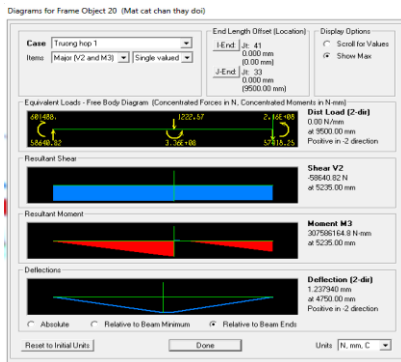
Hình 13. Biểu đồ mômen M_{22} .



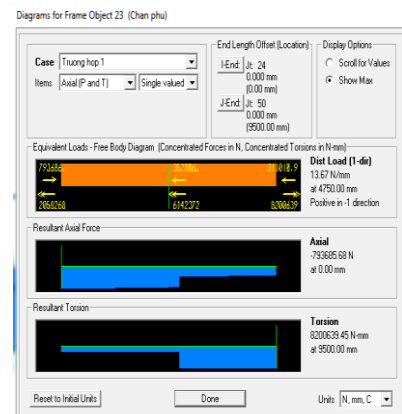
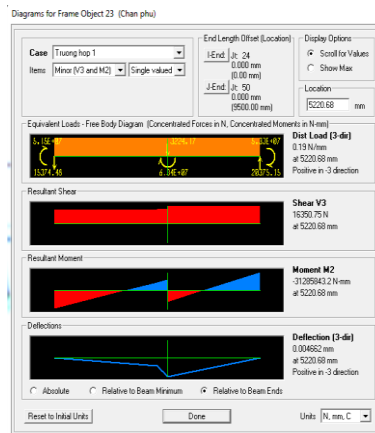
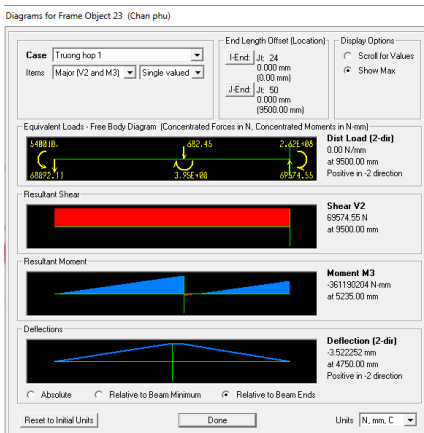
Hình 14. Biểu đồ lực dọc.



Hình 15. Biểu đồ mômen M_{33} .



Hình 16. Mômen M_{33} chân chính. Hình 17. Mômen M_{22} chân chính. Hình 18. Lực dọc N_z chân chính.



Hình 19. Mômen M_{33} chân phụ. Hình 20. Mômen M_{22} chân phụ Hình 21. Lực dọc N_z chân phụ.

Bảng 6. Giá trị nội lực phát sinh tại các phần tử ứng với các trường hợp.

Trường hợp 1 (02 xe tời cùng làm việc đồng thời)						
TT	Tên cấu kiện	Lực dọc Nz (N)	Mô men M33 (N.mm)	Độ võng f (mm)	Mô men M22 (N.mm)	Ghi chú
1	Dầm chính 1 (nút 51-53)		- 1382377706	18.257	-4007152	
2	Chân chính 21 (nút 32-34)	-804395	167658450		-62353	
3	Chân phụ 23 (nút 24-50)	-544562	-224156108		-53289325	
Trường hợp 2 (01 xe tời làm việc tại điểm chính giữa khẩu độ dầm chính)						
TT	Cấu kiện	Lực dọc Nz (N)	Mô men M33 (N.mm)	Độ võng f (mm)	Mô men M22 (N.mm)	Ghi chú
1	Dầm chính 1 (nút 51 - 53)		2077578058	23.1	-24144511	
2	Chân chính 21 (nút 32 -34)	-621471	513371137		-62353	
3	Chân phụ 23 (nút 24 - 50)	-451580	-569868794		-53289325	
Trường hợp 3 (02 xe tời hạ hàng lên dầm công xon ở 2 bên chân công trực)						
TT	Cấu kiện	Lực dọc Nz (N)	Mô men M33 (N.mm)	Độ võng f (mm)	Mô men M22 (N.mm)	Ghi chú
1	Dầm chính 21 (nút 32 -34)		920935613	10,3	-23984863	
2	Chân chính 21 (nút 32 -34)	1047873	307586164		-50313897	
3	Chân phụ 23 (nút 24 - 50)	-793685	-361190204		-31285843	
4	Công xon 14 (nút 48 - 49)		-396044570			
Trường hợp 4 (02 xe tời treo hàng và di chuyển dọc đường ray công trực)						
TT	Cấu kiện	Lực dọc Nz (N)	Mô men M33 (N.mm)	Độ võng f (mm)	Mô men M22 (N.mm)	Ghi chú
1	Dầm chính 1 (nút 51 - 53)		1985537340	14,73	43727740	

2	Chân chính 21 (nút 32 - 34)	1284146	389151933	-	248421828
3	Chân phụ 23 (nút 24 - 50)	-777364	-389384674	-	228021340

2.9. Tính toán kiểm tra bền tại các vị trí nguy hiểm

Từ kết quả nội lực thể hiện trong bảng 6, tác giả nhận thấy:

+ Kết cấu dầm chính (phần tử 01), có giá trị nội lực chịu uốn và độ võng lớn nhất ứng với trường hợp 2. Kết cấu dầm chính, dầm công xon đỡ tải (phần tử 14), dầm đầu và giằng chân chịu uốn theo 02 phương 3 - 3 (x - x) và 2 - 2 (y - y). Do đó cần kiểm tra theo điều kiện chịu uốn theo 2 phương.

- Kết cấu chân chính (phần tử 21), chân phụ (phần tử 23) chịu uốn theo 02 phương 3 - 3 (x - x) và 2 - 2 (y - y) và chịu nén. Do đó cần kiểm tra theo điều kiện chịu uốn+ nén kết hợp.

Kiểm tra bền:

- Đối với kết cấu dầm chính (phần tử 01). Tính toán ứng với trường hợp 2 (01 xe tời nâng hạ thùng chứa bùn tại điểm chính giữa của dầm chính). Ứng suất bền được xác định: Với $M_x = 2077578058$ (N.mm); $M_y = -24144511$ (N.mm), $W_x = 26,85 \cdot 10^6$ (mm³); $W_y = 13 \cdot 10^6$ (mm³).

$$\sigma_{tt} = \frac{M_x}{w_x} \pm \frac{M_y}{w_y} \leq [\sigma_{cp}] \tag{5}$$

$$\sigma_{tt} = \frac{M_x}{w_x} \pm \frac{M_y}{w_y} = \frac{2077578058}{26,8 \cdot 10^6} + \frac{-24144511}{13 \cdot 10^6} = 75,47 \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

+ Độ võng theo phương thẳng đứng tính toán $f_{tt} = 23,1$ (mm);

+ Độ võng theo tiêu chuẩn TCVN 4244-2005: $[f_{cp}] = L_k/700$.

Độ võng cho phép $[f_{cp}] = 22700/700 = 32,4$ (mm)

Kết luận: Với vật liệu thép SS400 thì giá trị ứng suất cho phép $[\sigma] = 160$ (N/mm²) thì với trường hợp tính toán trên ứng suất tính toán đều nhỏ hơn ứng suất cho phép $\sigma_{tt} < [\sigma]$. Độ võng tính toán cũng nhỏ hơn độ võng theo tiêu chuẩn $f_{tt} < [f_{cp}]$.

- Đối với kết cấu chân chính của cổng trục (phần tử 21). Tính toán ứng với trường hợp 3 (02 xe tời treo thùng chứa bùn và di chuyển cùng cổng trục). Ứng suất bền được xác định: Với $M_x = 307586164$ (N.mm); $M_y = -50313897$ (N.mm), $N_z = 1284146$ (N), $W_x = 18,3 \cdot 10^6$ (mm³); $W_y = 12,68 \cdot 10^6$ (mm³). $F_c = 44600$ (mm²)

$$\sigma_{tt} = \frac{M_x}{w_x} \pm \frac{M_y}{w_y} \pm \frac{N_z}{F_c} = \frac{307586164}{18,3 \cdot 10^6} + \frac{-50313897}{12,68 \cdot 10^6} + \frac{1047873}{44600} = 36,33 \text{ (N / mm}^2\text{)} \tag{6}$$

- Đối với kết cấu chân phụ đỡ cổng trục (phần tử 23). Tính toán ứng với trường hợp 3 (hạ thùng tải lên dầm công xon). Ứng suất bền được xác định: Với $M_x = -361190204$ (N.mm); $M_y = -31285843$ (N.mm),

$N_z = -793685$; $W_x = 7,2 \cdot 10^6$ (mm³); $W_y = 7,2 \cdot 10^6$ (mm³), $F_c = 29600$ (mm²)

$$\sigma_{tt} = \frac{M_x}{w_x} \pm \frac{M_y}{w_y} \pm \frac{N_z}{F_c} = \frac{-361190204}{7,2 \cdot 10^6} + \frac{-31285843}{7,2 \cdot 10^6} + \frac{-793685}{29600} = -81,28(\text{N} / \text{mm}^2) \quad (7)$$

- Đối với kết cấu dầm công xon đỡ thùng bùn thải (phần tử 14) $M_x = -396044570$ (N.mm); $W_x = 5,2 \cdot 10^6$ (mm³);

$$\sigma_{tt} = \frac{M_x}{w_x} = \frac{-396044570}{5,2 \cdot 10^6} = -76,16(\text{N} / \text{mm}^2) \quad (8)$$

Kết luận: Với vật liệu thép SS400, giá trị ứng suất cho phép $[\sigma] = 160$ (N/mm²) thì với các trường hợp tính toán nêu trên ứng suất tính toán đều nhỏ hơn ứng suất cho phép $\sigma_{tt} < [\sigma]$. Các kết cấu của công trục đều đủ sức chịu tải theo qui định.

3. KẾT LUẬN

- Qua phân tích giá trị nội lực ứng với các trường hợp làm việc thực tế của công trục tác giả nhận thấy trường hợp làm việc bất lợi nhất là trường hợp 3 (thùng chứa bùn thải được đặt trên dầm công xon của chân chính và chân phụ).

- Trong quá trình tính toán đối với các công trục có sử dụng 02 xe tời di chuyển độc lập cùng làm việc với tải trọng danh nghĩa thì cần phải chú ý đến các trường hợp làm việc bất lợi khi làm việc. Kết cấu dầm chính bất lợi nhất (có nội lực và chuyển vị lớn nhất) ứng với trường hợp 2 (01 xe tời 45 tấn đứng ở chính giữa khẩu độ của dầm chính). Các kết cấu chân chính, chân phụ, dầm công xon, giằng dầm, dầm đầu chịu lực lớn nhất ứng với trường hợp 3 (02 xe tời đứng tại vị trí gần dầm công xon, thùng chứa bùn thải được đặt trên dầm công xon của chân chính và chân phụ và hạ thùng bùn thải xuống dầm công xon, lúc này áp tải chùng).

- Theo kết quả tính toán: Kết cấu chân chính có thể giảm chiều cao theo phương x-x từ chiều cao 1500 mm xuống còn 1200 mm. Khi đó ứng suất $\sigma_{tt} = 90$ (N/mm²).

- Trong quá trình thử tải tĩnh theo tiêu chuẩn TCVN 4244-2005 nên thử tải ứng với trường hợp 01 xe tời 45 tấn làm việc ở chính giữa khẩu độ của dầm chính.

- Các kết quả tính toán thiết kế ở trên đã được tác giả chuyển giao cho Công ty Cổ phần Sản xuất - Thương mại Đại Dương khi tính toán thiết kế công trục 100 Tấn (50 T+50T).

Lời cảm ơn "Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong đề tài mã số T2026-CK 002TD".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Xing Yang, Shanyong Wang, Yusheng Jiang, Lihui Wang, Pengfei Li, Shouhui Wang. Theoretical and Experimental Analysis of Stress Variations in Precast Concrete Segment Linings during Double-Shield TBM Excavation of Subway Tunnels. Journal of Construction Engineering and Management, 2025.

[2] Morteza Abbasi, Amir Hossein Namadchi, Mehdi Abbasi and Mohsen Abbasi. Evaluation of machine learning algorithms in tunnel boring machine applications: a case study in Mashhad metro line 3. Abbasi et al. International Journal of Geo-Engineering, 2024.

[3] Shufang Zhai, Yingjie Song, Hao Tian. Development of Thrust, Torque and Power Estimation Model and Prediction Performance of Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine in Mixed-Face Strata. Applied sciences (MPDI), 2024.

[4] Feng Lu, Linlong Li, Zhenyu Chen, Maoyi Liu, Pinpin Li, Xinqiang Gao. Risk analysis and countermeasures of TBM tunnelling over the operational tunnel. Frontiers in Earth Science, Frontiers in Earth Science, 2023.

[5] Shunze Cao, Jian Cui, Yong Fang and Ruyong Deng. Performance of Slurry TBM Tunnelling in Sandy Cobble Ground - A Case Study in Lanzhou. KSCE Journal of Civil Engineering, 2019.

[6] Ates U et al. Estimating torque, thrust and other design parameters of different type TBMs with some criticism to TBMs used in Turkish tunneling projects. Tunn Undergr Space Technol 40:46-63, 2014.

[7] Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ. Nghiên cứu thuật toán và lập trình máy tính tính toán kết cấu thép cầu trục hai dầm dạng hộp. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ GD-ĐT mã số B2007-03-28TĐ, 2007.

[8] Nguyễn Đăng Hiếu Nghiên cứu khai thác các phần mềm chuyên dụng, ứng dụng vào tính toán thiết kế cầu trục chân dề trong các công trình thủy điện. Đề tài cấp Bộ 242.08.RD/HĐ-KHCN (Bộ Công Thương), 2008.

[9] Dương Trường Giang. Nghiên cứu xác định các thông số hợp lý của kết cấu thép cần trục tháp theo tiêu chuẩn Việt Nam. Luận án tiến sĩ Trường Đại học Xây dựng, 2011.

[10] TS Trương Quốc Thành, KS Lưu Phong Niên, Thiết kế chuẩn và quy trình công nghệ chế tạo công trục dựa trên trình độ công nghệ của các nhà máy cơ khí trong nước. Đề tài cấp Bộ GD&ĐT- B2001-34-1, 2001.

[11] Hyundai E&C- GHE LLA-JV. Contruction design report. Package: Tunel and underground station .package number HPLMLP/CP-03.

[12] Hyundai E&C- GHE LLA-JV. Contruction design drawings. Package: Tunel and underground station .package number HPLMLP/CP-03.

[13] Đào Trọng Thường, Tính toán thiết kế máy trục.

[14] Tiêu chuẩn Việt Nam, Thiết bị nâng: Thiết kế, chế tạo và kiểm tra kỹ thuật-TCVN4244:2005.

[15] Công ty Cổ phần Sản xuất - Thương mại Đại Dương. Hồ sơ kỹ thuật công trục hai dầm 80 tấn.