



NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC HỢP LÝ KẾT CẤU THÉP CẦU TRỤC DẠNG HỘP CÓ XÉT ĐẾN SỰ ẢNH HƯỞNG ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH CỤC BỘ

Dương Trường Giang¹, Hà Thẩm Phán²

Tóm tắt: Kết cấu thép các cầu trục hạng nặng có kích thước dầm hộp lớn do vậy khi tính toán thiết kế hợp lý ngoài các điều kiện ràng buộc về bền và độ cứng tổng thể thì điều kiện ràng buộc về ổn định cục bộ là quan trọng. Tuy nhiên, hiện nay vấn đề này hầu như chưa được quan tâm đúng mức. Nội dung bài báo trình bày phương pháp tính toán các thông số hình học hợp lý kết cấu thép cầu trục với hàm mục tiêu là khối lượng nhỏ nhất, có xét đến điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng dầm. Các thông số hình học tính toán hợp lý gồm kích thước tiết diện ngang của dầm hộp, vị trí các sườn tăng cứng. Từ kết quả nghiên cứu các tác giả thiết lập thuật toán và chương trình máy tính cho thiết kế tối ưu dầm cầu trục.

Từ khóa: Cầu trục; dầm hộp; mặt cắt ngang; thông số hình học; ổn định cục bộ.

Summary: Dimensions of box girder of heavy lift overhead crane are large and therefore when calculation of optimum overhead crane, in addition to other constraint functions of permissible stress and deflection, local stability is the important constraint functions. However, that is hardly adequate attention. The content of this paper presents the method of calculation for optimum geometrical parameters of box girder of overhead crane with objective function which is minimum mass of overhead crane structure and examining into the condition of local stability of webs of beam. Optimum geometrical parameters are the cross section of the box girder and the position of the stiffeners. From the result of research, the authors set up the algorithm and program for calculation of optimum overhead crane.

Keywords: Overhead crane; box girder; cross section; geometric parameter; local stability.

Nhận ngày 30/3/2014, chỉnh sửa ngày 15/4/2014, chấp nhận đăng 31/10/2014



1. Mở đầu

Cầu trục là thiết bị quan trọng góp phần nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm, cải tiến công nghệ và giải phóng sức lao động được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau của nền kinh tế quốc dân: công nghiệp đóng tàu, công nghiệp năng lượng, luyện kim... Trong cấu tạo cầu trục, kết cấu thép là một bộ phận chiếm tỉ trọng lớn quyết định đáng kể tới giá thành, trong đó kết cấu dầm cầu trục dạng hộp là loại được sử dụng phổ biến hơn cả. Các cầu trục có tải trọng nâng lớn thường có chiều cao dầm rất lớn, kết cấu dầm nhìn chung là kết cấu có thành mỏng [1], trong đó mỏng nhất là ở bản bụng (thành đứng). Do yếu tố đặc thù này nên các thông số hình học của dầm cầu trục dạng hộp ngoài yêu cầu đảm bảo các điều kiện như điều kiện bền, điều kiện độ cứng, điều kiện công nghệ chế tạo cần phải đảm bảo ổn định cục bộ cho bản bụng dầm (thành đứng của dầm).

Ở Việt Nam cũng như trên thế giới trong những năm gần đây đã có một số nghiên cứu tính toán thiết kế kết cấu thép cầu trục [2,5,6] tuy nhiên các nghiên cứu chỉ tập trung tính toán hợp lý các thông số tiết diện ngang dầm chính hoặc so sánh các tiêu chuẩn với nhau, chưa đánh giá hết mức quan trọng của việc bố trí hợp lý khoảng cách các sườn đứng và sườn dọc, chỉ thiết kế theo công thức kinh nghiệm và sau đó kiểm tra lại. Goran Pavlovic và các tác giả khác (2012) [7] cũng đã xem xét đưa điều kiện ràng buộc về ổn định vào bài toán tối ưu, tuy nhiên kết quả bài toán chỉ là tìm tiết diện ngang của dầm, phương pháp tìm

¹ TS, Khoa Cơ khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: giang2677@gmail.com

² ThS, Khoa Cơ khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng.

thông số của quá trình tối ưu phức tạp khó phục vụ trực tiếp cho thiết kế kỹ thuật.

Bài báo này trình bày phương pháp tính toán tìm các thông số hình học hợp lý kết cấu thép cầu trục dạng hộp có xét đến ảnh hưởng điều kiện ổn định cục bộ, phục vụ trực tiếp cho thiết kế kỹ thuật. Trong giới hạn nội dung bài báo chỉ trình bày vấn đề lựa chọn các thông số thiết kế hợp lý, phương pháp tính toán thiết kế kết cấu thép cầu trục theo mục tiêu là trọng lượng kết cấu nhỏ nhất bao gồm cả thuật toán và chương trình tính có xét đến ảnh hưởng điều kiện ổn định cục bộ nhằm xác định các thông số hình học phục vụ thiết kế.



2. Tính toán các thông số hình học hợp lý kết cấu thép cầu trục dạng hộp

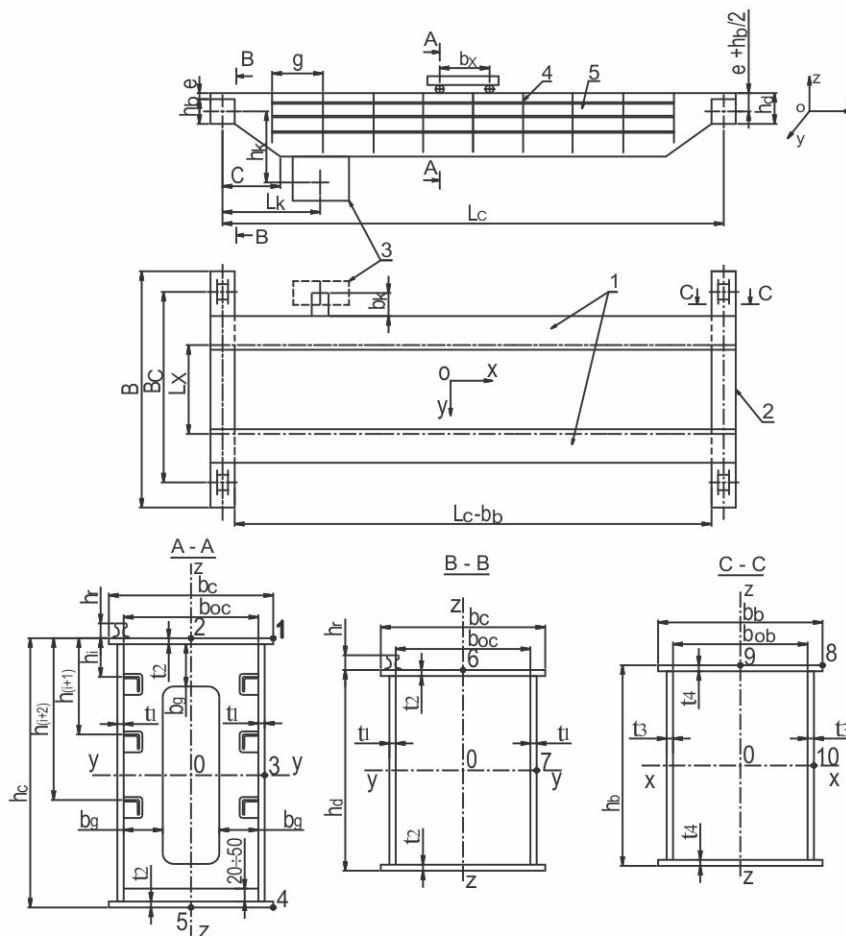
2.1 Các thông số hình học cơ bản kết cấu thép cầu trục

Các thông số hình học cơ bản kết cấu thép cầu trục thể hiện trên Hình 1 gồm nhiều thông số khác nhau, có thể chia làm 3 nhóm:

- Kích thước kết cấu thép cầu trục liên quan trực tiếp tới đặc tính kỹ thuật máy: khẩu độ L_c , khoảng cách hai bánh xe trên dầm biên B_c , khoảng cách hai ray di chuyển xe con L_x ... Thường là giá trị cho trước khi thiết kế.

- Tiết diện ngang dầm cầu trục: chiều cao dầm h_c , chiều rộng dầm b_c , chiều dày bản bụng và bản cánh dầm t_1 và t_2 . Lựa chọn ban đầu các thông số này có thể theo các tài liệu chuyên ngành [1,8], đây là các thông số cơ bản khi thiết kế, thiết kế hợp lý.

- Kích thước bố trí các sườn đứng và ngang đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ, theo [1,6,8] có thể bố trí như Bảng 1 và Hình 2. Trong đó khoảng cách bố trí các sườn đứng g và sườn dọc h_{gd} là thông số chính cần thiết kế.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo biểu diễn các thông số hình học kết cấu thép cầu trục hai dầm dạng hộp
1. Dầm chính; 2. Dầm biên; 3. Cabin; 4. Sườn đứng; 5. Sườn dọc

Bảng 1. Bố trí gân tăng cường

TT	Tên thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Công thức xác định
1	Chiều cao gân đứng dài	h_g	mm	$h_g = h_c - 2.t_2 - (20 \div 50)$
2	Chiều cao gân đứng ngắn	h_{gn}	mm	$h_{gn} = h_g/3$
3	Chiều rộng gân đứng	b_g	mm	$b_g = h_c/30 + (30 \div 40)$
4	Chiều dày gân đứng	t_g	mm	$t_g \leq t_1$
5	Khoảng cách giữa 2 gân đứng dài	g	mm	$g \geq 500; g \leq 2h_c; g \leq 3000$
6	Vị trí gân dọc thứ i so với bản cánh trên	h_{gdi}	mm	$h_{gdi} = h_{gd(i-1)} - (0,15 \div 0,2).h_c$
7	Chiều dài gân dọc	L_g	m	$L_g = L_c - b_b$

2.2 Phương pháp tính toán

Bài toán đặt ra là tìm các thông số hình học kết cấu thép cầu trục gồm các thông số mô tả tiết diện dầm (h_c, b_c, t_1, t_2) và các thông số bố trí sườn tăng cường (g, t_g, h_{gdi}) đảm bảo trọng lượng kết cấu G_c nhỏ nhất từ các thông số cho trước: đặc tính kỹ thuật cầu trục; khối lượng các thiết bị và cụm thiết bị đặt trên máy G_k ; các thông số của vật liệu.

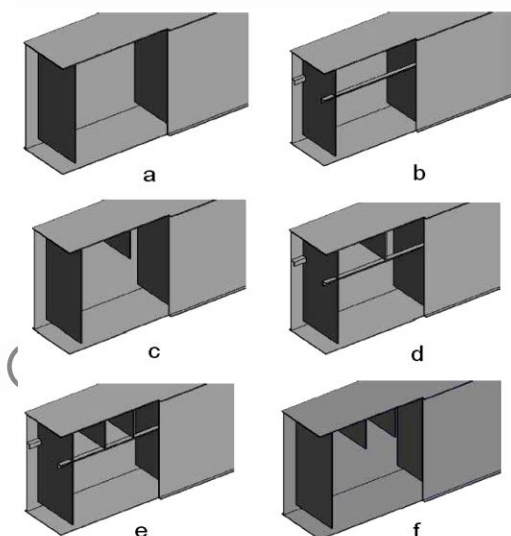
$$G_c = \min \sum G_i = f(h_c, b_c, t_1, t_2, g, t_g, h_{gdi}) \quad (1)$$

Kết cấu thép cầu trục chịu tác dụng các thành phần tải trọng tính theo hai trường hợp: trường hợp 1 các tải trọng tác dụng theo phương đứng, trường hợp 2 tải trọng tác dụng theo phương đứng và phương ngang. Nội lực được tính toán tại các mặt cắt nguy hiểm AA, BB, CC (Hình 1) tương ứng khi xe con tại giữa dầm và đầu dầm. Các điều kiện của bài toán được triển khai theo các tài liệu chuyên ngành [1], [3], [8].

Theo điều kiện bền tại các điểm đặc trưng trên mặt cắt (điểm 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 - Hình 1) thỏa mãn điều kiện:

$$\sigma \leq [\sigma]; \tau \leq [\tau] \quad (2)$$

trong đó: σ, τ là ứng suất pháp và ứng suất tiếp lớn nhất xuất hiện trong kết cấu do các tải trọng gây ra tại trường tải trọng đang xét; $[\sigma], [\tau]$ là các ứng suất cho phép của vật liệu chế tạo ứng với trường hợp tải trọng đang xét, trường hợp tải trọng 1 với hệ số an toàn 1,5, trường hợp tải trọng 2 với hệ số an toàn 1,3 [1].



Hình 2. Các phương án bố trí gân tăng cường trong 1 khoang (giới hạn bởi 2 gân đứng dài) của dầm để đảm bảo ổn định cục bộ [6]
a. $0pp + 0k$; b. $0pp + 1k$; c. $1pp + 0k$;
d. $1pp + 1k$; e. $2pp + 1k$; f. $2pp + 0k$
pp - Gân đứng ngắn; k - Gân dọc

Theo điều kiện về độ cứng tĩnh:

$$f_d \leq [f_d]; f_n \leq [f_n] \quad (3)$$

trong đó: f_d là chuyển vị theo phương đứng do tải trọng tĩnh toán Q và do trọng lượng xe con G_x gây ra khi xe con tại giữa dầm; f_n là chuyển vị theo phương ngang của kết cấu do các tải trọng quán tính khi di chuyển cầu trục; $[f_d], [f_n]$ là chuyển vị cho phép theo phương đứng và phương ngang của kết cấu phụ thuộc vào khẩu độ L_c lấy theo [1], [8].

$$[f_d] = \frac{1}{700} Lc; [f_n] = \left(\frac{1}{1750} \div \frac{1}{2000} \right) Lc \quad (4)$$

Phân tích ảnh hưởng của các trường hợp căng khác nhau của thành đứng theo độ ổn định cục bộ, theo lý thuyết ổn định của kết cấu tấm (Phụ lục 4 - [4]) có các giá trị ứng suất ngang tới hạn σ_{cr}^v (Nmm) và ứng suất tiếp tới hạn τ_{cr}^v (Nmm) ở dạng tổng quát:

$$\sigma_{cr}^v = 189800. k_\sigma \left(\frac{t_l}{h} \right)^2; \tau_{cr}^v = 189800. k_\tau \left(\frac{t_l}{h} \right)^2 \quad (5)$$

Hệ số k_σ và k_τ phụ thuộc vào tỷ số kích thước của thành đứng, kết cấu đỡ dọc theo các mép của thành đứng, kiểu tải trọng tác dụng và biện pháp gia cường của thành đứng bằng các gân.

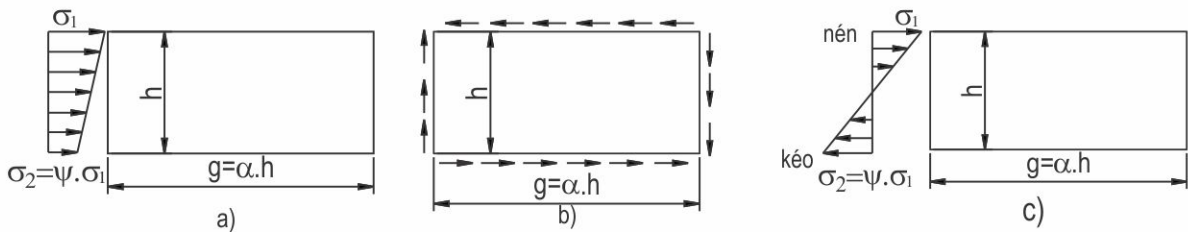
Trường hợp kích thước dầm cầu trục loại nhỏ có $h_c/t_l < 160$ theo [1] không cần sử dụng các gân dọc ($h = h_c$), ta có:

- Vị trí tiết diện giữa dầm, khi tỉ số $\frac{g}{h_c} > \frac{2}{3}$ lấy $k_\sigma = 23,9$ và các trường hợp khác:

$$k_\sigma = 15,87 + 1,87 \cdot \left(\frac{h_c}{g} \right)^2 + 8,6 \cdot \left(\frac{g}{h_c} \right) \quad (6)$$

- Vị trí tiết diện đầu dầm, tính toán phụ thuộc tỉ số $\alpha = g/h_c$:

$$\text{Nếu } \frac{g}{h_c} \leq 1 \text{ thì } k_\tau = 4 + 5,34 \cdot \left(\frac{h_c}{g} \right)^2; \text{ nếu } \frac{g}{h_c} > 1 \text{ thì } k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{h_c}{g} \right)^2 \quad (7)$$



Hình 3. Kiểu tải trọng tác dụng lên tấm thành đứng đại diện tại vị trí đặc trưng

a) Vị trí giữa dầm - nén không đều ($h_c/t_l \geq 160$); b) Vị trí đầu dầm - cắt thuần túy;

c) Vị trí giữa dầm - uốn thuần túy ($h_c/t_l < 160$)

Trường hợp kích thước dầm cầu trục lớn có $h_c/t_l \geq 160$, tấm thành khi xét điều kiện ổn định cục bộ là tấm giới hạn bởi các sườn đứng và sườn dọc trên tấm thành đứng. Vị trí tiết diện đầu dầm chính, tấm thành đứng được coi như chịu cắt thuần túy theo công thức (7). Tại vị trí tiết diện giữa dầm chính, thành đứng được coi như chịu nén không đều, khi đó hệ số k_i của tấm thứ i phụ thuộc tỉ số $\alpha = g/h$:

$$\text{Nếu } \frac{g}{h} \leq 1 \text{ thì } k_{\sigma i} = \left(\frac{g}{h} + \frac{h}{g} \right)^2 \cdot \frac{2,1}{\psi_i + 1,1}; \text{ nếu } \frac{g}{h} > 1 \text{ thì } k_{\sigma i} = \frac{8,4}{\psi_i + 1,1} \quad (8)$$

Hệ số ψ_i ứng với các tấm thành đứng thứ i giới hạn bởi gân dọc thứ i và gân đứng

$$\psi_i = \frac{\sigma_{2i}}{\sigma_{1i}} = \frac{h_c - 2h_{gdi}}{h_c - 2h_{gd(i-1)}} \quad (9)$$

trong đó: σ_{1i} , σ_{2i} là ứng suất phân bố của tấm thứ i ; h_{gdi} là vị trí gân dọc thứ i so với bản cánh trên (khi $i=1$ thì $h_{gd(i-1)} = 0$) tại mặt cắt tương ứng.

Thay các giá trị ψ_i tương ứng vào (8) được các công thức xác định k_σ chỉ phụ thuộc vào hệ số g/h và theo công thức (5) tính ứng suất tới hạn σ_{cr}^v tại tấm thứ i tương ứng.

Khi đó theo các điều kiện ổn định cục bộ các thông số hình học dầm cầu trục phải thỏa mãn các hệ số an toàn quy định [1]:

- Trường hợp phối hợp tải trọng thứ nhất: $k_1 = \frac{\sigma_{cr}^v}{\sigma_l} \geq [k_1] = 1,3$; $k_1 = \frac{\tau_{cr}^v}{\tau_l} \geq [k_1] = 1,3$ (10)

- Trường hợp phối hợp tải trọng thứ hai: $k_2 = \frac{\sigma_{cr}^v}{\sigma_2} \geq [k_2] = 1,1$; $k_2 = \frac{\tau_{cr}^v}{\tau_2} \geq [k_2] = 1,1$ (11)

trong đó: σ_1, τ_1 và σ_2, τ_2 là ứng suất pháp và ứng suất tiếp của phần dầm đang xét ứng với trường hợp tải trọng thứ nhất và thứ hai.

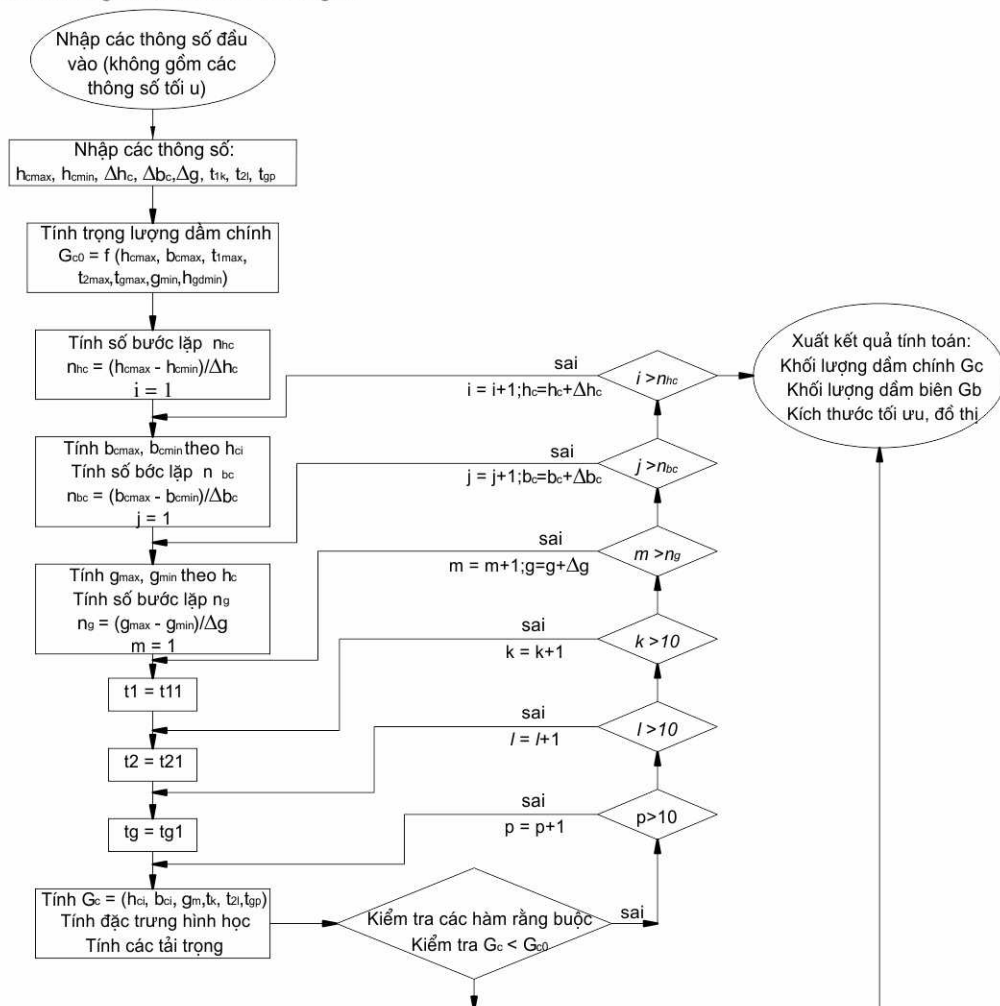
Ngoài các điều kiện trên các thông số hình học kết cấu thép cầu trục phải thỏa mãn thời gian dao động tắt dần:

$$t_{td} = \frac{\ln(0,2 f_d)}{p \partial} \leq [t_{td}] \quad (\text{s}) \quad (12)$$

trong đó: ∂ là hệ số loga giảm dao động phụ thuộc h_c/L_c lấy theo [3]; $[t_{td}]$ là thời gian tắt dần cho phép lấy $[t_{td}] = 12 \div 15(\text{s})$; f_d là chuyển vị theo phương đứng khi xe con đặt giữa dầm.

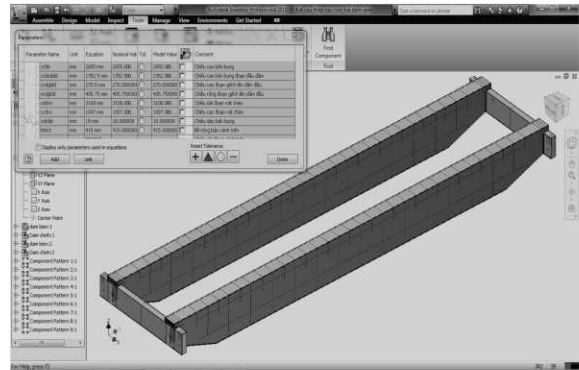
2.3 Thuật toán và chương trình

Sơ đồ thuật toán tính toán các thông số hình học với mục tiêu là trọng lượng kết cấu nhỏ nhất theo phương pháp tính nêu trên cho ở Hình 4. Thời gian tính toán phụ thuộc nhiều vào giá trị các số gia lớn hay nhỏ hay số bước lặp nhiều hay ít. Trong đó các giá trị t_{1k}, t_{21}, t_{gp} được lấy theo qui cách thép tấm thường dùng chế tạo dầm cầu trục dạng hộp; số gia thông số thiết kế Δ được chọn tùy ý; số bước lặp các thông số phụ thuộc vào miền giá trị ban đầu và số gia.



Hình 4. Thuật toán tính toán các thông số hình học kết cấu thép cầu trục dạng hộp

Chương trình tính toán các thông số hình học hợp lý kết cấu thép dầm cầu trục dạng hộp sử dụng ngôn ngữ lập trình Visual Basic gồm các mô đun nhập số liệu, tính toán, tối ưu thông số hình học, kết quả. Kết quả tính toán cho phép kết xuất dữ liệu tính toán ra các bảng tính Excel thành bộ thuyết minh thiết kế kỹ thuật trực tiếp hoặc có thể dùng để so sánh đối chiếu kiểm tra với các tính toán thực tế khác; xuất dữ liệu thành các đồ thị của các thông số thiết kế dùng để khảo sát theo khẩu độ cầu trục L_c hoặc tải trọng nâng Q . Ngoài ra chương trình cho phép xuất dữ liệu tính toán ra các bản vẽ thiết kế trực tiếp thông qua tính năng thiết kế theo tham số hỗ trợ bởi chương trình INVENTOR (Hình 5), tính toán nội lực và ứng suất theo phương pháp PTHH bằng chương trình ANSYS.



Hình 5. Thiết kế theo tham số kết nối với chương trình INVENTOR.



3. Ví dụ tính toán

3.1 Tính toán tối ưu các thông số hình học dầm chính cầu trục

Cầu trục tính toán thử nghiệm có các thông số kỹ thuật và dữ liệu cho trước tương tự cầu trục đã được chế tạo thực tế và lắp đặt tại Nhà máy Thủy điện Đồng Nai 3, cầu trục có sức nâng $Q=250$ tấn, khẩu độ $L_c=32m$. Các số gia thông số thiết kế $\Delta h_c = 10mm$, $\Delta b_c = 10mm$, $\Delta g = 20mm$; miền xác định các thông số thiết kế $h_c = (1600 \div 3200mm)$, $b_c = (0,3h_c \div 0,5h_c)$, $g = (500 \div 3000mm)$. Các kết quả tính toán trình bày ở Bảng 2. Kết quả tính toán các thông số hình học tối ưu theo phương pháp trên (CA3) được so sánh với các phương án tính toán khác nhau khi cùng phương pháp tính toán tải trọng và ứng suất: phương án 1 (CA1) - cầu trục thực tế; phương án 2 (CA2) - cầu trục được tối ưu các thông số hình học tiết diện ngang dầm chính với điều kiện ràng buộc về bền và độ cứng tính bằng chương trình CEC Steel [2], bài toán ổn định là lớp bài toán thiết kế riêng phải đảm bảo theo các thông số hình học đã tối ưu.

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán theo các phương án thiết kế

Thông số		Đơn vị	CA1	CA2	CA3
Khối lượng 01 dầm chính G_c		Tấn	41,18	38,03	37,22
Khối lượng gân đỡ của 1 dầm chính G_g		Tấn	4,08	3,02	3,94
Các thông số hình học					
Chiều cao dầm chính h_c		mm	3000	3100	3180
Bề rộng dầm chính b_c		mm	1000	950	1170
Chiều dày bản bụng t_1		mm	12	11	10
Chiều dày bản cánh t_2		mm	25	26	20
Khoảng cách 2 gân đỡ g		mm	1200	1500	1270
Chiều dày gân đỡ t_g		mm	12	11	10
Ứng suất tính toán					
Ứng suất pháp lớn nhất trên mặt cắt giữa dầm chính A-A	Tổ hợp I	N/mm^2	143,7	143,1	145,9
	Tổ hợp II		178,8	182,9	179,1
Ứng suất tiếp lớn nhất trên mặt cắt đầu dầm chính B-B	Tổ hợp I	N/mm^2	90,4	77,8	82,6
	Tổ hợp II		94,5	83,5	87,5

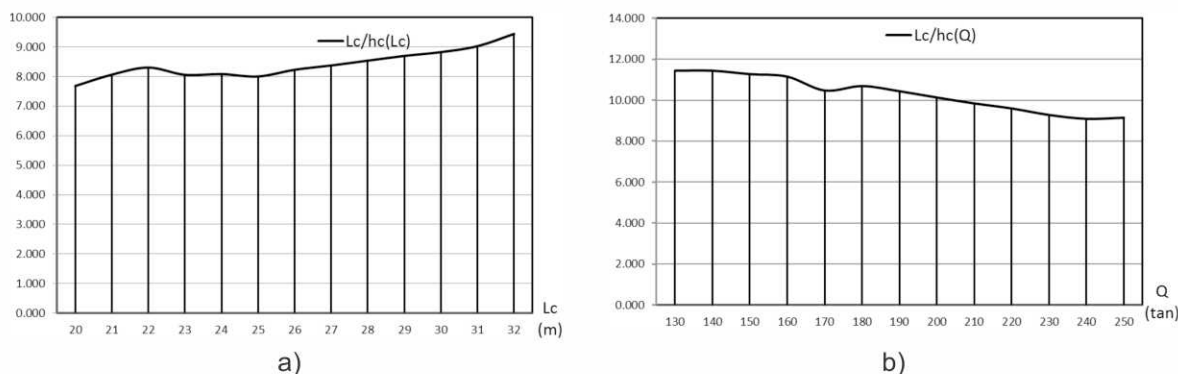
Khi tối ưu tiết diện dầm và khoảng cách bố trí sườn đứng (CA3) cho phép giảm 9,6% khối lượng dầm chính so với cầu trục đã chế tạo và giảm 2,1% so với cầu trục được tính toán chỉ tối ưu các thông số hình học tiết diện ngang. Giá trị ứng suất pháp trong các phương án tính toán thay đổi không đáng kể, trong khi ứng suất tiếp giảm so với ban đầu. Từ đây có thể thấy việc lựa chọn hợp lý thông số hình học dầm cầu trục ngoài tiết diện ngang (h_c , b_c , t_1 , t_2) thì việc thiết kế hợp lý các thông số của sườn đứng g và t_g sẽ làm giảm đáng kể khối lượng kết cấu thép và giảm giá thành chế tạo cầu trục, đặc biệt ý nghĩa với cầu trục hạng nặng.

3.2 Khảo sát các thông số hình học dầm chính cầu trục

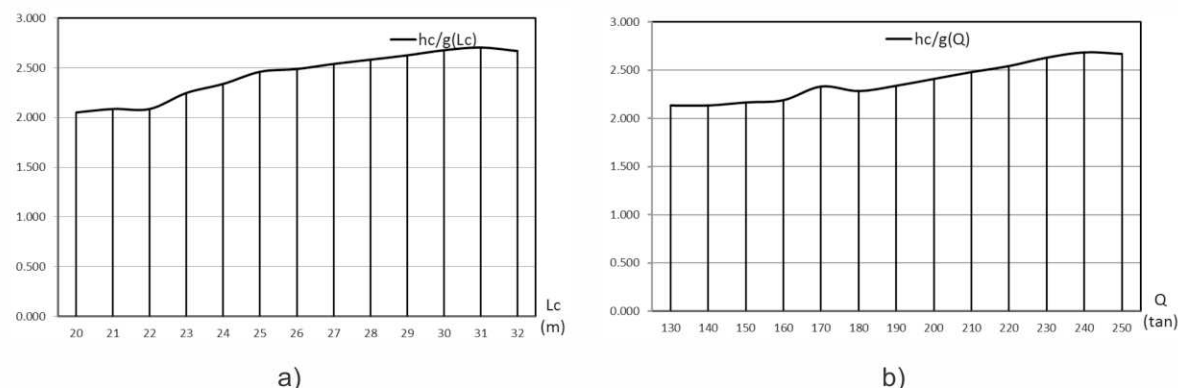
Sử dụng thuật toán và chương trình đã xây dựng các tác giả tiến hành khảo sát sự thay đổi của các thông số hình học hợp lý của dầm cầu trục theo khẩu độ L_c và tải trọng nâng Q với các thông số cho trước không đổi lấy theo ví dụ tính toán mục 3.1. Các kết quả khảo sát mối quan hệ giữa khẩu độ dầm và chiều cao dầm (L_c/h_c), chiều cao dầm và khoảng cách các gân đứng (h_c/g) khi tải trọng Q thay đổi từ 130 tấn tới 250 tấn (Hình 6a và 7a), khẩu độ L_c thay đổi từ 20m tới 32m (Hình 7a và 7b):

- Có thể thấy tốc độ thay đổi chiều cao dầm hợp lý h_c khi khẩu độ L_c thay đổi nhỏ hơn so với trường hợp cho tải trọng Q thay đổi. Các tỉ số này ở cận dưới miền giá trị theo công thức kinh nghiệm, thậm chí còn thấp hơn miền giá trị ($L_c/h_c = 7,6$ khi $L_c = 20m$, $Q = 250$ tấn), giá trị trung bình $L_c/h_c(L_c) \approx 8,408$, giá trị trung bình $L_c/h_c(Q) = 10,307$.

- Giá trị hợp lý của khoảng cách gân tăng cường ứng với cả 2 trường hợp thay đổi khẩu độ L_c và tải trọng nâng Q đều xấp xỉ nhau. Giá trị trung bình tỷ số h_c/g bằng 2,428 khi cho L_c thay đổi và bằng 2,384 khi cho Q thay đổi. Như vậy trong khoảng khẩu độ và tải trọng nâng khảo sát có thể thấy giá trị h_c/g tối ưu cho thiết kế có thể lấy xấp xỉ bằng 2,4.



Hình 6. Đồ thị khảo sát mối quan hệ giữa khẩu độ L_c và chiều cao dầm h_c
a. Khi khẩu độ L_c thay đổi; b. Khi tải trọng nâng Q thay đổi



Hình 7. Đồ thị khảo sát mối quan hệ giữa chiều cao dầm h_c và khoảng cách các gân đứng g
a. Khi khẩu độ L_c thay đổi; b. Khi tải trọng nâng Q thay đổi



4. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp xác định các thông số hình học của kết cấu thép cầu trục dạng hộp khi có xét đến đầy đủ các điều kiện bao gồm điều kiện bền, điều kiện về độ cứng, điều kiện về ổn định... để đạt mục tiêu khối lượng kết cấu nhỏ nhất. Qua đó cho thấy với các cầu trục hạng nặng việc tính toán thiết kế hợp lý có xét điều kiện ràng buộc ổn định cục bộ là cần thiết và tiết kiệm đáng kể chi phí vật liệu, phương pháp tính toán đã nêu cũng phù hợp điều kiện thiết kế trong thực tế. Từ phương pháp tính toán các tác giả đã thiết lập được thuật toán và chương trình tính để xác định các kích thước hình học của tiết diện dầm cầu trục, các thông số bố trí sườn dầm bảo ổn định cục bộ. Các kết quả của chương trình có thể dùng phục vụ tự động hóa quá trình thiết kế, khảo sát đánh giá các thông số khác nhau của hệ kết cấu thép cầu trục dạng hộp.

Tài liệu tham khảo

1. Huỳnh Văn Hoàng, Đào Trọng Thường (1975), *Tính toán máy trục*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
2. Phạm Quang Dũng, Trần Nhất Dũng, Dương Trường Giang (2005), *Phần mềm tính toán kết cấu thép cầu trục 2 dầm dạng hộp*, Báo cáo Hội nghị KHCN lần 14, Trường Đại học Xây dựng, 1/2005.
3. Trương Quốc Thành, Phạm Quang Dũng (2004), *Máy và thiết bị nâng*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
4. TCVN 4244-2005, *Thiết bị nâng, thiết kế, chế tạo, kiểm tra kỹ thuật*, Bộ Khoa học và Công nghệ.
5. Camelia Pinca Bretotean, Ovidiu Gelu Tirian, Ana Virginia Socalici, Erika Diana Ardelean (2009), *"Dimensional optimization for the strength structure of a traveling crane"*, *Wseas transactions on applied and theoretical mechanics* – Issue 4, Volume 4, 2009.
6. D. Gaška, C. Pypno (2011), *"Strength and elastic stability of cranes in aspect of new and old design standards"*, *Mechanika*, Vol 17, (p226 – 231).
7. Goran Pavlovic, Mile Savkovic, Milomir Gasic, Radovan Bulatovic, Nebojša Zdravković (2012), *"Optimization of the box section of the main girder of the double beam bridge crane according to the criteria of lateral stability and local stability of plates"*, *Machine design*, Vol 4 (p197 – 204).
8. М.М. Гохберг (1976), *Металлические конструкции подъемно-транспортных машин*, Машиностроение.