



NGHIÊN CỨU CƠ SỞ TÍNH TOÁN CẦN TRỤC THÁP KHI XÉT ĐẾN BIẾN DẠNG THÂN THÁP

Dương Trường Giang^{1*}

Tóm tắt: Cần trục tháp được sử dụng để xây dựng các công trình có chiều cao lớn, nó có đặc điểm là thân tháp dài, chịu ảnh hưởng nhiều thành phần ngoại lực. Do có đặc điểm cấu tạo như vậy nên kết cấu cần trục chịu chuyển vị lớn khi làm việc và cả khi không làm việc. Sự chuyển vị lớn này ngoài yếu tố liên quan tính toán độ bền kết cấu thì còn ảnh hưởng tới tải trọng tác dụng vào móng cần trục, ổn định lật đổ cần trục, hệ neo giằng, sức khỏe người vận hành... Dựa trên các nghiên cứu đã công bố bài báo này trình bày mô hình bài toán tính biến dạng thân tháp do tác dụng tải trọng quy tĩnh. Đây là phương pháp tính đơn giản phù hợp cho thực tế khi thiết kế bộ phận riêng rẽ trong quá trình sử dụng cần trục, nhằm hạn chế các rủi ro không mong muốn.

Từ khóa: Cần trục tháp; độ cứng; ổn định; tải trọng; hệ neo giằng.

Research on fundamental calculation of tower cranes examining into the elastic deflections of tower body

Abstract: Tower Cranes are used to build the tall buildings and the characteristic of a tower crane is long tower mast which is influenced by many external forces. Therefore, the structure of Tower Cranes is deflected in service and out of service. This deflection relates not only structural strength but also impact on foundation design, stability against overturning, anchor system, health of operators... Based on research has announced, this paper presents the model of exercise which is used to calculate the elastic deflections of tower mast under static loading. This simple method is suitable for reality when we design the separate parts in utilization process of the Tower Cranes to prevent unwanted risks.

Keywords: Tower Crane; stiffness; stability; loading; anchor system.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 16/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 16, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Mở đầu

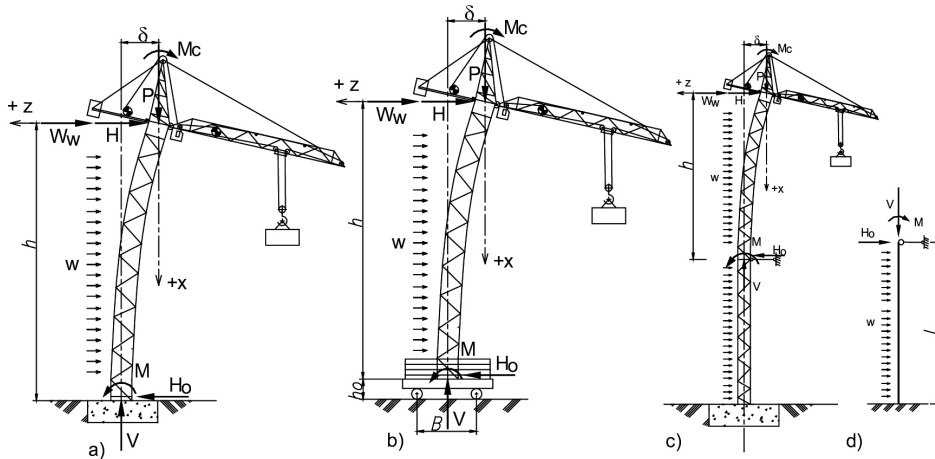
Cần trục tháp là thiết bị nâng phổ biến trong xây dựng các công trình có chiều cao lớn hiện nay, đặc điểm cấu tạo là có thân tháp kích thước chiều dài lớn hơn nhiều tiết diện ngang. Do có đặc điểm cấu tạo như vậy nên kết cấu tháp cần trục chịu chuyển vị lớn khi làm việc và cả khi không làm việc. Sự chuyển vị lớn này ảnh hưởng đến nhiều yếu tố như tính toán độ bền kết cấu, tải trọng tác dụng vào móng cần trục, ổn định lật đổ cần trục, đặc tính kỹ thuật cần trục, sức khỏe người vận hành... Các giáo trình, tài liệu về cần trục ở Việt Nam [1-3] hầu như ít đề cập các yếu tố trên trong các bài toán cơ bản. Theo hướng nghiên cứu này các tác giả trong [4] tính toán kết cấu thép cần trục tháp khi xét tới biến dạng theo nguyên tắc sử dụng các hệ số khuếch đại các tải trọng biến đổi phù hợp với TCVN4244-2005 [6]. Trong [5] xây dựng bài toán thiết kế tối ưu thiết kế kết cấu thép cần trục tháp có kể đến yếu tố biến dạng lớn. Ming X.H và các cộng sự [8] tính toán ổn định kết cấu cần trục tháp sử dụng phương pháp năng lượng và so sánh với kết quả tính của mô hình phần tử hữu hạn. Lawrence K.S và các cộng sự [9] trong tính toán ổn định lật đổ có nêu lý thuyết chung tính toán chuyển vị thân tháp khi xét tải trọng gió, tải trọng nâng và trọng lượng bản thân cần trục, không xét tải trọng quán tính trong bài toán. Lanfeng Yu [10] nghiên cứu phương pháp tính toán và đánh giá độ cứng tính thân tháp, tác giả đã đo đạc thực tế 20 loại cần trục với các kiểu dạng khác nhau đang sử dụng an toàn trong thực tế, [10] nhận thấy chúng đều có chuyển vị tháp nhỏ hơn hoặc bằng 1,34h/100 (h-chiều cao tháp tới chốt chân cần). Phương pháp tính toán có xét biến dạng của TCVN4244-2005 hoặc FEM1.001 [4,6] là tương đối phức tạp đòi hỏi phải có phần mềm đủ mạnh phân tích để tìm ra hệ số khuếch đại đầy đủ. Trong thực tế khai thác cần trục thì các bài toán thiết kế riêng rẽ như móng cần trục, ổn định lật đổ, thiết

¹TS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

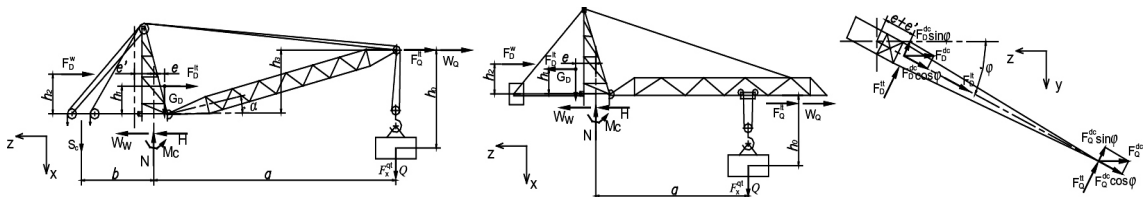
*Tác giả chính. E-mail: giangdt@nuce.edu.vn.

kế hệ neo giằng là phổ biến và nhiều khi cần trực tháp không đủ hồ sơ, dữ liệu tải trọng cần thiết để thiết kế hoặc lắp đặt theo yêu cầu riêng.

Vì vậy, dựa trên các nghiên cứu đã công bố bài báo này sẽ trình bày mô hình bài toán tính biến dạng thân tháp dưới tác dụng tải trọng quy tính lớn nhất và quan hệ các thông số cần trực theo điều kiện biến dạng. Đây là phương pháp tính đơn giản xác định tải trọng, mô men tăng thêm do biến dạng phù hợp cho thực tế khi thiết kế bộ phận riêng rẽ trong quá trình khai thác cần trực, nhằm hạn chế các rủi ro không mong muốn.



Hình 1. Mô hình tính chuyển vị thân tháp của cần trục tháp
a) Cần trục đặt cố định trên nền; b) Cần trục di chuyển trên ray;
c, d) Cần trục đặt cố định trên nền và neo giằng vào công trình.



Hình 2. Sơ đồ tính toán quy đổi lực tác dụng vào tháp



2. Mô hình tính khi xét biến dạng thân tháp

Xét mô hình bài toán như Hình 1, giá trị chuyển vị ngang hệ tháp, cần ảnh hưởng chủ yếu do biến dạng thân tháp gây ra, chuyển vị này gây tăng thêm mô men tác dụng thân tháp (còn gọi là hiệu ứng $P - \Delta$ [9]), giá trị mô men tăng thêm là đáng kể khi thân tháp biến dạng lớn. Theo mô hình tính để xác định giá trị mô men tăng thêm ta cần xác định các giá trị lực quy đổi về tâm tháp tại vị trí chốt chân cần và chuyển vị tại chốt chân cần của cần trục tháp. Quy đổi lực tác dụng do phần bên trên chốt chân cần vào tháp gồm các thành phần, mô men M_c , lực đứng N , lực ngang H , lực ngang do tải trọng gió W_w (Hình 2). Trong đó lực đứng N do trọng lượng bản thân phần bên trên chốt chân cần và tải trọng nâng Q , lực căng cáp tác dụng vào tháp S_c (trường hợp cần trục tháp loại tháp quay); mô men M_c do lực tác dụng theo phương ngang H (lực gió, lực quán tính), tải trọng nâng Q theo đường đặc tính tải trọng và trọng lượng bản thân; lực ngang H là do các lực quán tính trong mặt phẳng của cần xét khi cần trực làm việc, còn lực gió quy đổi W_w tác dụng vào phần bên trên và vật nâng.

Giả thiết mô hình tính coi nền, bệ di chuyển, đoạn tháp bên dưới điểm neo giằng cuối cùng là tuyệt đối cứng (Hình 1). Theo mô hình tính ta có:

- Mô men tăng thêm M_Δ tác dụng vào chân tháp hoặc lớp giằng cuối cùng do chuyển vị gây ra là:

$$M_\Delta = P(\delta_c + \delta_w + \delta_H) \quad (1)$$

- Mô men tại chân tháp M trong trường hợp tổng quát khi kể đến biến dạng thân tháp là:

$$M = M_0 + M_\Delta = M_c + W_w h + 0,5wh^2 + Hh + P(\delta_c + \delta_w + \delta_H) \quad (2)$$

- Lực đứng V và lực ngang H_0 tác dụng chân tháp:

$$V = N + G_{th}; H_0 = H + W \quad (3)$$

trong đó: lực đứng P tác dụng vào tháp theo [9] là $P = N + \frac{G_{th}}{3}$; $\delta_C, \delta_W, \delta_H$ là chuyển vị tháp tại chốt chân cần do mô men, do gió, do lực ngang tác dụng vào tháp; G_{th} là trọng lượng tháp.

Các giá trị công thức (2), (3) dùng tính toán trong các bài toán riêng rẽ như móng cần trực, các bài toán ổn định lật đổ cần trực, tính bền kết cấu thép có xét tới ảnh hưởng biến dạng thân tháp với mô men tăng thêm M_A . Trường hợp cần thực tháp neo giằng vào công trình (Hình 1c) các giá trị M, V, H_0 của phương trình (2), (3) coi tác dụng vào lớp giằng cuối cùng, tính toán tải trọng móng và lực tác dụng vào các lớp giằng theo mô hình như Hình 1d. Phương pháp tính toán cần trực tháp theo điều kiện biến dạng thân tháp cho bài toán thiết kế và bài toán lựa chọn thông số khai thác cần trực được mô tả như sau:

- Dữ liệu ban đầu: Các thông số vật liệu, đặc tính tải trọng; thông số động học; các thông số hình học, kết cấu, dữ liệu gió...

- Lập phương trình quan hệ các thông số, tính toán các giá trị: Lực và mô men: P, M, H, W ; chuyển vị chốt chân cần: $\delta_W, \delta_C, \delta_H$; điều kiện ràng buộc về độ cứng: $\delta < [\delta]$; khảo sát chiều cao thân tháp; khảo sát các thông số động học; các dữ liệu khác theo yêu cầu bài toán...

- Tính toán các giá trị: Mô men tăng thêm: M_A ; lực và mô men phục vụ thiết kế: V, M, H_0 .

- Áp dụng cho các bài toán: Tính toán thiết kế móng, ổn định lật đổ; tính toán thiết kế hệ neo giằng; tính toán thân tháp...



3. Mối quan hệ các thông số cần trực theo điều kiện biến dạng

Quy đổi thành phần lực đứng N về tâm tháp ở vị trí chốt chân cần (Hình 2):

$$N = G_D + \Sigma S_c + Q + \Sigma F_x^{qt}; \quad (N) \quad (4)$$

$$\Sigma F_x^{qt} = F_x^Q + F_x^{TV} = \xi v_1 m_Q + \frac{(Q + G_0'')}{g} a_3'' = f_x^{qt}(v_1, a_3''); \quad (N) \quad (5)$$

trong đó: G_D là trọng lượng bản thân các bộ phận cần trực bên trên chốt chân cần, (N); ΣS_c là lực căng cáp (ở loại cần trực tháp quay), (N); Q là trọng lượng vật nâng, (N); ΣF_x^{qt} là tổng các lực quán tính theo phương x , (N); F_x^Q là lực quán tính khi nâng hạ vật nâng Q , (N); F_x^{TV} là lực quán tính do vật nâng và khối lượng cần trong trường hợp cần trực thay đổi tầm với bằng nâng hạ cần, (N); m_Q là khối lượng vật nâng, $m_Q = Q/g$ (kg); v_1 là vận tốc nâng hạ, (m/ph); v_3'' là tốc độ chuyển động đứng đầu cần khi nâng hạ cần, (m/ph); G_0'' là trọng lượng quy dẫn cần quy về đầu cần, với cần thẳng $G_0' = G_c/3$ [2,3]; G_c là trọng lượng cần, (N); t_3 là thời gian chuyển động không ổn định của cơ cấu nâng hạ cần; gia tốc $a_3'' = (0,1 \div 0,6)$ (m/s²) [6].

Hệ số thực nghiệm ξ theo [6]: $\xi v_1 = 0,15$, khi $v_1 < 0,5$ m/s; $\xi v_1 = 0,3$, khi $0,5 \leq v_1 \leq 1$ (m/s); $\xi v_1 = 0,3$ khi $v_1 > 1$ m/s.

Quy đổi thành phần lực ngang H về tâm tháp ở vị trí chốt chân cần (Hình 2):

$$H = F_Q^{lt} \pm F_D^{lt} + F_Q^{dc} \cos \varphi + F_D^{dc} \cos \varphi = \frac{Qn^2(a+e')}{900-n^2h_0} \pm \frac{G_D}{g}(e+e')\omega^2 + m_Q a_2 \cos \varphi + m_D a_2 \cos \varphi \quad (6)$$

$$= \frac{Qn^2(a+e')}{900-n^2h_0} \pm \frac{G_D}{g}(e+e') \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 + (m_Q + m_D) a_2 \cos \varphi = f_Z^{qt}(n, a_2); \quad (N)$$

Quy đổi thành phần lực gió W_w về tâm tháp ở vị trí chốt chân cần (Hình 2):

$$W_w = F_D^W + W_Q; \quad (N) \quad (7)$$

Mô men quy đổi về tâm tháp tại vị trí chốt chân cần theo các thông số hình học (Hình 1):

$$M_c = Qa + (F_x^Q + F_x^{TV})a + F_Q^{lt}h_3 \pm F_D^{lt}h_1 + W_Qh_3 + F_D^W h_2 + F_Q^{dc}h_3 \cos \varphi + F_D^{dc}h_2 \cos \varphi - \Sigma S_c b \pm G_D e$$

$$= Qa + f_x^{qt}(v_1, a_3'')a + \frac{Qn^2(a+e')}{900-n^2h_0}h_3 \pm \frac{G_D}{g}(e+e') \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 h_1 + W_Qh_3 + F_D^W h_2 + h_2 m_D a_2 \cos \varphi \quad (8)$$

$$+ h_3 m_Q a_2 \cos \varphi - \Sigma S_c b \pm G_D e; \quad (Nm)$$

trong đó: F_Q^{lt} là lực quán tính ly tâm của vật nâng khi quay, (N); F_D^{lt} là lực quán tính ly tâm do trọng lượng phần bên trên G_D khi quay, (N); a là khoảng cách từ vật nâng tới tâm tháp, (m); e là khoảng cách từ trọng tâm trọng lượng phần bên trên G_D tới tâm tháp (giá trị e có thể thay đổi theo góc nghiêng cần), (m); e' là khoảng

cách từ tâm quay máy tới tâm tháp (với cần trục tháp đầu quay thường tâm quay máy trùng với tâm tháp), (m); r là tầm với cần trục, cần trục loại tháp không quay $r = a$ hoặc loại tháp quay $r = a + e'$ (m); φ là góc quay cần so với đường đi chuyển, độ; n là tốc độ quay, (v/ph); a_2 là gia tốc di chuyển máy, (m/s²), miền giá trị gia tốc và thời gian gia tốc có thể tham khảo [6]; F_D^w , W_Q là lực gió tác dụng vào phần bên trên chốt chân cần và vật nặng, (N); a , b , h_1 , h_2 , h_3 là các cánh tay đòn tương ứng các lực (Hình 2); h_0 là chiều cao nâng, (m); F_Q^{dc} , F_D^{dc} là các lực quán tính khi di chuyển máy do trọng lượng vật nặng Q và phần bên trên chốt chân cần, (N).

Sử dụng mô hình hệ thanh 1 đầu ngàm, chuyển vị ngang tại chốt chân cần dưới tác dụng các thành phần tải trọng như sau:

- Chuyển vị tại chốt chân cần δ_c do mô men M_c tác dụng vào tháp theo [9]:

$$\delta_c = \frac{M_c}{P} \frac{1 - \cos\left(\sqrt{\frac{P}{EI}}h\right)}{\cos\left(\sqrt{\frac{P}{EI}}h\right)} = \delta_c(h, v_1, n, a_2, a_3''); (m) \quad (9)$$

trong đó: lực đứng $P = N + \frac{G_{th}}{3}$ [9], (N); G_{th} là trọng lượng tháp tính đến chốt chân cần (N); h là chiều cao thân tháp tới chốt chân cần, (m); E là mô đun đàn hồi của vật liệu (N/m²); I là mô men quán tính tiết diện thân tháp, (m⁴); các hàm lượng giác trong công thức (9) đơn vị góc là radian.

- Chuyển vị tại chốt chân cần δ_w do tải trọng gió tác dụng vào cần trục bao gồm phần bên trên W_w và tải phân bố vào thân tháp w , theo [9]:

$$\delta_w = \frac{1}{P\sqrt{\frac{P}{EI}}} \left[W_w \left(tg\sqrt{\frac{P}{EI}}h - \sqrt{\frac{P}{EI}}h \right) + wh \left(tg\sqrt{\frac{P}{EI}}h - \frac{\sqrt{\frac{P}{EI}}h}{2} \right) - \frac{w}{\sqrt{\frac{P}{EI}}} \frac{1 - \cos\sqrt{\frac{P}{EI}}h}{\cos\sqrt{\frac{P}{EI}}h} \right] = \delta_w(h); (m) \quad (10)$$

- Tương tự như (10) ta có chuyển vị tại chốt chân cần δ_H do lực ngang H phần bên trên tác dụng vào tháp, triển khai khi theo [9]:

$$\delta_H = \frac{1}{P\sqrt{\frac{P}{EI}}} \left[H \left(tg\sqrt{\frac{P}{EI}}h - \sqrt{\frac{P}{EI}}h \right) \right] = \delta_H(h); (m) \quad (11)$$

- Điều kiện ràng buộc chuyển vị tĩnh tại chốt chân cần lớn nhất δ cần đảm bảo:

$$\delta = \delta_c(v, h, a_2, n, a_3'') + \delta_w(h) + \delta_H(h) \leq [\delta] \quad (12)$$

Theo khuyến cáo trong [10] thì chuyển vị cho phép $[\delta] = 1,34h/100$, theo tiêu chuẩn GB3811-1983, GB/T13752-1992 thì $[\delta] = h/100$.



4. Ví dụ tính toán, khảo sát các thông số cần trục

Xét cần trục tháp loại đầu quay và cần nằm ngang được lắp đặt cố định, các thông số ban đầu lấy theo cần trục Grucomedil MCA 501 [7] có đặc tính kỹ thuật và các thông số như sau: tải trọng nâng lớn nhất tương ứng $Q_{max} = 6$ tấn tại tầm với $r = 15m$, $Q_{min} = 1,4$ tấn tại tầm với $r_{max} = 50m$, vận tốc nâng $v_1 = 30m/ph$, vận tốc quay $n = 0,5m/ph$, vận tốc thay đổi tầm với $v_{iv} = 50m/ph$, chiều cao đứng tự do tính tới chốt chân cần $h = h_0 = 42m$ (chiều cao nâng $h_n = 40m$). Khối lượng bản thân cần trục gồm: tổng trọng lượng các bộ phận bao gồm cần, đỉnh tháp, đối trọng, cần công xôn, cơ cấu nâng, cơ cấu kéo xe con, cabin, xe con $G_D = 248,7KN$, trọng tâm cách tâm quay $e = 0,9m$; trọng lượng tháp tính tới chốt chân cần $G_{th} = 201,17KN$ ($h = 42m$). Thông số tháp: kích thước tháp $1,6m \times 1,6m$; các thanh biên làm bằng thép L150 $\times$ 150 $\times$ 15; mô men quán tính với trục theo đường chéo tháp $J_{x_{xo}} = 1662cm^2$, với trục qua tâm tháp song song với cạnh tháp $J_{y_{xx}} = 1046cm^2$; mô đun đàn hồi $E = 2,1 \cdot 10^5$ N/mm². Các dữ liệu khác về gia tốc và điểm đặt lực: cần trục đặt cố định và thay đổi tầm với bằng xe con cáp kéo nên gia tốc $a_2 = 0$, $a_3'' = 0$; vị trí điểm đặt lực $h_1 = 0,3m$; $h_2 = 2,2m$; $h_3 = 0$. Dữ liệu tải trọng gió: áp lực gió lớn nhất trong trạng thái làm việc $q_{II} = 250N/m^2$; trong trạng thái không làm việc $q_{III} = 1100N/m^2$. Sử dụng các ứng dụng trong Microsoft Excell để tính toán (quy đổi về đơn vị KN, m), trong trạng thái làm việc tải trọng nâng Q tính ở vị trí tầm với có mô men tải lớn nhất $r = 15m$, các kết quả tính và khảo sát đánh giá các thông số như Bảng 1 tới Bảng 5.

Kết quả tính giá trị mô men tăng thêm trong miền khảo sát do biến dạng thân tháp là đáng kể từ 10% tới 30%, do vậy mà không chỉ tính toán kết cấu thép của cần trục tháp mà cần thiết phải xem xét yếu tố này cả khi thiết kế móng, neo giằng, kiểm tra ổn định. Từ kết quả này bước đầu cho ta các nhận định về phương án khai thác an toàn, thiết kế kỹ thuật an toàn cần trục tháp như sau:

- Với thông số kỹ thuật ban đầu theo đặc tính kỹ thuật cần trục (Bảng 1), trong tính toán thông thường nếu không xét biến dạng thân tháp cho các bài toán (ổn định lật đổ, thiết kế móng, tính neo giằng) mà chỉ đặt hệ số an toàn tối thiểu theo quy định (ví dụ như tính ổn định lật đổ: hệ số ổn định động $k_1 = 1,15$; ổn định khi không làm việc $k_2 = 1,15 [1,2]$) thì dự trữ an toàn thực tế là không đảm bảo vì mô men tăng thêm do biến dạng trong trạng thái làm việc là 17,2%, trong trạng thái không làm việc là 10%.

- Biến dạng thân tháp và giá trị lực tăng thêm do biến dạng phụ thuộc nhiều vào chiều cao thân tháp h (Bảng 4), sự biến đổi này không nhiều khi thay đổi vận tốc nâng v_1 (m/s), hệ số động lực ψ , tốc độ quay n (v/ph) (Bảng 2, Bảng 3). Nên trong miền khảo sát khi cải tạo tăng chiều cao tháp bằng cách giảm các thông số động học trong ví dụ này là ít có ý nghĩa.

Bảng 1. Chuyển vị chốt chân cần và mô men tăng thêm trong các trạng thái cần trục

Trường hợp	Quan hệ cần tháp	δ (m)	$[\delta]$ (m)	M_A (KNm)	M_o (KNm)	M (KNm)	% M tăng thêm
Khi làm việc	CT	0.46	0.56	194.00	1,079.00	1,273.00	17.98
	ĐC	0.46	0.56	194.00	1,128.00	1,322.00	17.20
Khi tải treo tĩnh	CT	0.34	0.56	140.96	676.17	817.13	20.85
	ĐC	0.34	0.56	140.90	676.17	817.07	20.84
Khi không làm việc	CT	0.49	0.56	175.46	1,530.00	1,705.46	11.47
	ĐC	0.49	0.56	175.39	1,747.00	1,922.39	10.04

Ghi chú: CT là cần vuông góc với cạnh tháp, $\varphi = 0^\circ$; ĐC là cần theo đường chéo tháp, $\varphi = 45^\circ$.

Bảng 2. Khảo sát chuyển vị chốt chân cần và mô men tăng thêm theo giá trị vận tốc nâng

v_1 (m/s)	$\psi = \xi v_1$	δ (m)	$[\delta]$ (m)	M_A (KNm)	M_o (KNm)	M (KNm)	% M tăng thêm
0.50	0.15	0.46	0.56	194.00	1,079.00	1,273.00	17.98
0.60	0.18	0.46	0.56	194.70	1,082.00	1,276.70	17.99
0.70	0.21	0.46	0.56	195.40	1,084.60	1,280.00	18.02
0.80	0.24	0.47	0.56	196.00	1,087.30	1,283.30	18.03
0.90	0.27	0.47	0.56	196.73	1,090.00	1,286.73	18.05
1.00	0.30	0.47	0.56	197.40	1,092.70	1,290.10	18.07

Bảng 3. Khảo sát chuyển vị chốt chân cần và mô men tăng thêm theo giá trị vận tốc quay

n (v/ph)	δ (m)	$[\delta]$ (m)	M_A (KNm)	M_o (KNm)	M (KNm)	% M tăng thêm
0.30	0.46	0.56	192.85	1,070.34	1,263.19	18.02
0.50	0.46	0.56	194.00	1,079.00	1,273.00	17.98
1.00	0.48	0.56	200.00	1,122.00	1,322.00	17.83
1.50	0.50	0.56	210.70	1,200.00	1,410.70	17.56
2.00	0.54	0.56	227.80	1,322.90	1,550.70	17.22

Bảng 4. Khảo sát chuyển vị chốt chân cần và mô men tăng thêm theo tải trọng nâng, chiều cao tháp

Góc quay cần	$Q(t)$	$h(m)$	δ (m)	$[\delta]$ (m)	M_A (KNm)	M_o (KNm)	M (KNm)	% M tăng thêm
CT	3.50	53.25	0.52	0.71	206.00	793.00	999.00	25.98
ĐC	3.50	53.25	0.51	0.71	206.36	872.70	1,079.06	23.65
CT	4.40	49.50	0.53	0.66	213.00	900.40	1,113.40	23.66
ĐC	4.40	49.50	0.53	0.66	212.80	968.80	1,181.60	21.97
CT	5.50	45.75	0.53	0.61	229.30	1,040.50	1,269.80	22.04
ĐC	5.50	45.75	0.53	0.61	220.30	1,099.00	1,319.30	20.05

Ghi chú: CT là cần vuông góc với cạnh tháp, $\varphi = 0^\circ$; ĐC là cần theo đường chéo tháp, $\varphi = 45^\circ$.

Bảng 5. Khảo sát chuyển vị chốt chân cần và mô men tăng thêm theo tải trọng nâng, chiều cao tháp

Trường hợp	Quan hệ cần tháp	h (m)	δ (m)	$[\delta]$ (m)	M_{Δ} (KNm)	M_o (KNm)	M (KNm)	% M tăng thêm
Khi làm việc	CT	30.75	0.21	0.41	88.80	953.80	1,042.60	9.31
	CT	34.50	0.28	0.46	117.43	993.74	1,111.17	11.82
	CT	38.25	0.36	0.51	152.15	1,035.52	1,187.67	14.69
	CT	45.75	0.58	0.61	244.54	1,124.80	1,369.34	21.74
	ĐC	45.75	0.58	0.61	244.40	1,183.30	1,183.30	20.65
	CT	49.50	0.73	0.66	305.25	1,172.27	1,477.52	26.04
	ĐC	49.50	0.73	0.66	305.12	1,240.70	1,545.82	24.59
	CT	53.25	0.90	0.71	378.33	1,221.66	1,599.99	30.97
	ĐC	53.25	0.90	0.71	378.20	1,301.00	1,679.20	29.07
Khi không làm việc	CT	30.75	0.19	0.41	66.52	1,088.20	1,154.72	6.11
	CT	53.25	1.10	0.71	395.10	2,048.00	2,443.10	19.29
	ĐC	53.25	1.10	0.71	395.00	2,340.00	2,735.00	16.88
	CT	45.75	0.65	0.61	233.00	1,694.00	1,927.00	13.75
	ĐC	45.75	0.65	0.61	232.00	1,652.00	1,884.00	14.04
	CT	49.50	0.85	0.66	305.00	1,867.00	2,172.00	16.34
	ĐC	49.50	0.85	0.66	305.00	2,168.00	2,473.00	14.07

Ghi chú: CT là cần vuông góc với cạnh tháp, $\varphi = 0$; ĐC là cần theo đường chéo tháp, $\varphi = 45^\circ$.

- Khi khai thác cần trục, lắp đặt tăng chiều cao thân tháp h lớn hơn so thiết kế $h > 42\text{m}$ (Bảng 5), tháp bị biến dạng và lực đứng, mô men tăng vượt so với quy định an toàn, trong phương án này có thể giảm tải trọng nâng Q (Bảng 4) để biến dạng, lực đứng, mô men tác dụng vào tháp ở trạng thái làm việc đạt trong miền an toàn. Tuy nhiên trong trạng thái không làm việc (gió bão) thì cần phải cần trọng neo giằng và hạ thấp độ cao theo quy định.



5. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày mô hình bài toán tính biến dạng thân tháp dưới tác dụng tải trọng quy tĩnh và quan hệ các thông số cần trục theo điều kiện biến dạng. Dựa trên các nghiên cứu đã công bố và ví dụ minh họa, phương pháp tính toán trong bài báo phù hợp với việc xác định dữ liệu tải trọng (V , H_o , M , M_{Δ}) cho các bài toán riêng rẽ hay gặp trong thực tế mà không đòi hỏi phải có phần mềm đủ mạnh để phân tích tìm ra hệ số khuếch đại đầy đủ. Kết quả khi khảo sát một ví dụ cụ thể cho thấy giá trị mô men tăng thêm do biến dạng thân tháp là đáng kể, do vậy mà không những tính toán kết cấu thép thân tháp mà còn phải xem xét yếu tố biến dạng này cả khi xác định tải trọng dùng thiết kế móng, thiết kế hệ neo giằng, kiểm tra ổn định lật đổ..., điều này góp phần hạn chế các rủi ro không mong muốn.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Hùng, Phạm Quang Dũng, Nguyễn Thị Mai (2001), *Máy xây dựng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Trương Quốc Thành, Phạm Quang Dũng (2004), *Máy và thiết bị nâng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Huỳnh Văn Hoàng, Đào Trọng Thường (1975), *Tính toán máy trục*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Dương Trường Giang, Phạm Quang Dũng, Trần Nhất Dũng (2009), "Tính toán kết cấu thép cần trục tháp xây dựng theo TCVN4244-2005", *Tuyển tập công trình khoa học hội nghị Cơ học toàn quốc*, Viện khoa học và Công nghệ Việt Nam và Hội Cơ học, 40 - 48.
- Dương Trường Giang, Phạm Quang Dũng, Trần Nhất Dũng (2010), "Xác định tiết diện hợp lý cho kết cấu thép cần trục tháp", *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Trường Đại học Xây dựng, (8):57- 65.
- TCVN 4244-2005, *Thiết bị nâng, thiết kế, chế tạo, kiểm tra kỹ thuật*.
- Tower Crane Grucomedil MCA 501, *Instruction Manual*, Casagrande Group, Italia.
- Huang M.X., Xu J.P., Wu J.G. (2012), "The energy solutions for the stability of tower crane", *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications, Switzerland, (170-173):3159 - 3165.
- Lawrence K.S., Jay P.S. (2011), *Cranes and Derricks (Fourth Edition)*, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Yu L. (2008), "Calculation method and control value of static stiffness of tower crane", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Springer, (22):829 - 834.