

Tính toán lực căng dây cáp và biên độ dao động của sàn treo xây dựng chịu tải trọng động theo phương đứng

Tension cable calculation and oscillation amplitude of construction suspended floor under vertically dynamic load

> **NGUYỄN TIẾN ĐẮC, LÊ NGỌC PHƯƠNG**

Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,

TÓM TẮT

Trong bài báo này, các tác giả đã nghiên cứu bài toán sàn treo dao động theo phương đứng khi chịu tải trọng động với giả thiết dây cáp làm việc đàn hồi. Bằng phương pháp mô hình hóa và giải tích, bài báo đã mô hình hóa sàn treo xây dựng trong kỹ thuật, thiết lập phương trình vi phân dao động của sàn treo, đưa ra nghiệm giải tích của bài toán, nhằm tính toán lực căng, biên độ dao động và độ giãn dây cáp của sàn treo xây dựng. Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến lực căng và độ giãn dây cáp qua ví dụ số.

Từ khóa: Sàn treo xây dựng; dây cáp đàn hồi; lực căng dây cáp; độ giãn dây cáp.

ABSTRACT

In this paper, the authors have researched the problem of suspended floors oscillating vertically under dynamic loads with the assumption of elastic working cables. By the method of modeling and analysis, the article has modeled suspended floors built in engineering, set up the oscillating differential equation of suspended floors, provided analytical solutions of the problem, in order to calculate tension, oscillation amplitude and cable elongation of the construction suspension floors. Some factors affecting cable tension and elongation are investigated through numerical examples.

Keywords: Construction suspended floor; elastic working cable; cable tension; cable elongation.

1. GIỚI THIỆU

Sàn treo xây dựng (hay sàn treo thao tác, giàn giáo treo, thang tời hay sàn treo công nghiệp) là thiết bị xây dựng đang được sử dụng phổ biến trong kỹ thuật, thay thế cho giàn giáo xây dựng bởi độ linh hoạt, tiện dụng. Thiết bị được sử dụng để hoàn thiện hay

bảo dưỡng bề mặt ngoài của công trình cao tầng, lắp kính, lắp đèn....So với giàn giáo truyền thống thì sàn treo xây dựng có nhiều ưu điểm hơn. Nếu như giàn giáo có diện tích thi công hẹp; khả năng mất an toàn cao; sức chịu tải thấp; quản lý thiết bị khó khăn; vật tư nhỏ, dễ thất lạc hoặc móp méo, hư hại; tốn nhiều thời gian để lắp đặt, tháo dỡ; độ bền thấp; chi phí đầu tư ban đầu lớn thì sàn treo có diện tích thi công lớn, dễ dàng thay đổi linh hoạt; đảm bảo an toàn cho người lao động; tải trọng cao, lên đến 800kg; quản lý thiết bị dễ dàng; kết cấu đơn giản, gọn nhẹ, dễ dàng lắp đặt, tháo dỡ, vận hành; độ bền cao, khả năng chống chịu với môi trường xây dựng tốt; chi phí đầu tư thấp; môi trường làm việc chuyên nghiệp hóa, giúp nâng cao năng suất lao động; tính ứng dụng cao, sử dụng được với nhiều kiểu dạng kiến trúc công trình. Tuy nhiên, thực tế hiện nay, các tai nạn do sàn treo công nghiệp gặp sự cố vẫn thi thoảng xảy ra khi thi công, xây dựng ở các công trình. Theo đó, sàn treo thường gặp phải một số vấn đề hay có sự cố như dây cáp bị kẹt, bị tuột, bị đứt đột ngột, sàn dao động rung lắc...khi chịu tải, gây nguy hiểm cho người và thiệt hại về vật chất. Nghiên cứu về sàn treo xây dựng có nhiều vấn đề liên quan cần tìm hiểu. Điển hình như bài toán ổn định chống lật của hệ thống nâng đỡ sàn treo xây dựng, bài toán sàn treo chi tác động của tải trọng gió, bài toán nghiên cứu giảm dao động của sàn treo theo phương thẳng đứng và phương ngang, tính toán phản lực liên kết tại các vị trí có liên kết, nghiên cứu thiết kế sàn treo đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, nghiên cứu quá trình vận hành của sàn treo, nghiên cứu các sự cố hay gặp của sàn treo trong thực tế, nghiên cứu các tiêu chuẩn an toàn của sàn treo, tìm hiểu các nguyên nhân gây ra sự cố đối với sàn treo, nghiên cứu tính toán sức chịu tải của dây cáp tời, nghiên cứu dao động của sàn treo khi chịu tải trọng, nghiên cứu tính toán chi phí thiết kế-chế tạo sàn treo...và nhiều vấn đề khác cần nghiên cứu với mục tiêu đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, tính an toàn khi thiết kế, thi công và vận hành sàn treo xây dựng.

Trên thế giới, nhiều vấn đề liên quan đến sàn treo xây dựng đã được nghiên cứu về mặt lý thuyết và thực nghiệm. [18] nghiên cứu đánh giá, so sánh thiết kế của hai loại sàn treo nhẹ và sàn treo nặng về sự thoải mái, an toàn, hiệu quả cho công nhân, người lao động như ảnh hưởng đến tư thế làm việc, nhịp tim, tốc độ di chuyển,...[21] nghiên cứu ứng dụng, thiết kế hệ thống giá nâng đỡ sàn treo xây dựng. [19] phân tích điều kiện an toàn của giàn giáo trong thi công xây dựng các kết cấu nhà. [20] đánh giá thực nghiệm ảnh hưởng của thanh nối chiều cao sàn treo tới cấu trúc kết cấu của hệ thống sàn treo xây dựng nhằm thiết kế sàn thao tác đảm bảo tính an toàn và

tiết kiệm chi phí... Ở Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu lý thuyết về dao động, tiêu chuẩn an toàn của các cơ cấu máy hay tiêu chuẩn về giàn giáo xây dựng... [7,10,11,16,17], các công trình nghiên cứu lý thuyết về sàn treo xây dựng còn hạn chế. Trên cơ sở lý thuyết và các vấn đề thực tiễn xây ra, bài báo muốn tìm hiểu, nghiên cứu một trong các bài toán liên quan đến sàn treo xây dựng. Cụ thể, bài báo đã mô hình hóa bài toán dao động của sàn treo xây dựng chịu tải trọng động theo phương đứng với giả thiết dây cáp làm việc đàn hồi, sử dụng phương pháp giải tích để thiết lập phương trình vi phân dao động của sàn treo, đưa ra công thức để tính toán lực căng dây cáp và biên độ dao động của sàn treo, từ đó tiến khảo sát số, kết quả số cho thấy ảnh hưởng của một số yếu tố ảnh hưởng đến lực căng và độ giãn của dây cáp sàn treo.



Hình 1. Hiện trường sự cố một dây cáp của sàn treo xây dựng bất ngờ đứt trong lúc 2 công nhân đang thi công ngoài trời trên sàn treo ở tầng 6, sàn treo rơi xuống đường khiến 2 người bị thương nặng phải nhập viện cấp cứu năm 2018 ở Hà Nội.

2. MÔ HÌNH HÓA BÀI TOÁN DAO ĐỘNG CỦA SÀN TREO XÂY DỰNG

Xét trường hợp sàn treo (gọi ngắn gọn là thang) chỉ chịu tác dụng của tải trọng gồm trọng lượng bản thân của thang và tải trọng thẳng đứng dạng hàm điều hòa và phân bố đều dọc theo thang. Dây cáp của của tời được giả thiết làm việc đàn hồi, dây cáp luôn căng (không xét hiện tượng trùng cáp treo). Bài toán khảo sát trong giai đoạn phanh hãm dừng thang tại vị trí nào đó, hoặc quá trình thang được treo ở vị trí cao độ nào đó để phục vụ thi công (thang dao động quanh vị trí cân bằng tĩnh khi chịu tải trọng động). Lúc này, do dây cáp làm việc đàn hồi nên giả thiết dây cáp tương đương với lò xo có độ cứng k làm thang có thể xảy ra hiện tượng dao động. Trong thực tế, có thể liên hệ với hiện tượng dao động của buồng thang máy mỗi khi thang phanh hãm dừng lại tại các sàn tầng, dao động này là có thể cảm nhận được.

Trong sơ đồ trên, L là chiều dài sàn thang, L_1 là khoảng cách giữa hai cáp, P là tổng trọng lượng bản thân của thang bao gồm: trọng lượng sàn treo của thang (m_s) và các trọng lượng khác (m_h) có chuyển động tương đối so với sàn thang là không đáng kể (coi như gắn chặt vào sàn thang), m là tổng khối lượng bản thân của thang, gia tốc trọng trường là g , trị số l_0 là chiều dài của dây cáp (hay lò xo

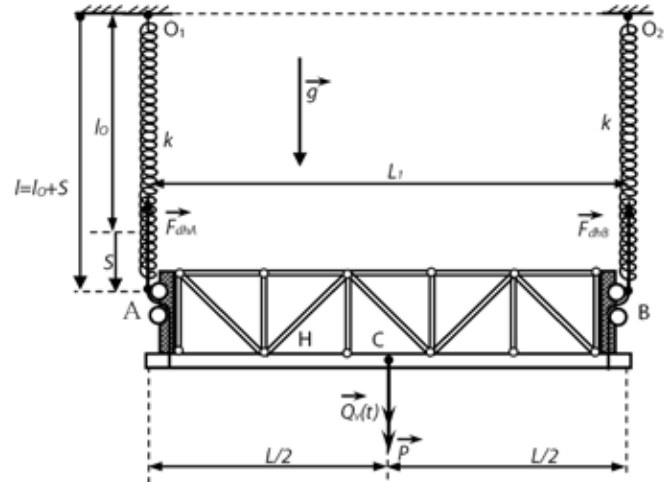
mô hình) khi cáp chưa biến dạng, tọa độ suy rộng S chính bằng độ biến dạng hay độ giãn của cáp.

Hợp lực của hệ lực phân bố $q(t)$ là lực $Q_v = Q_v(t) = Lq_v(t)$ với $q_v(t)$ là tải trọng động phân bố đều trên thang là hàm phụ thuộc thời gian, có dạng:

$$q_v(t) = q_{ov} \sin \omega_v t \quad (1)$$

Khi đó, hợp lực có dạng:

$$Q_v = Lq_{ov} \sin \omega_v t = Q_{ov} \sin \omega_v t \quad (2)$$



Hình 2. Sơ đồ tính toán tương đương

Hệ số đàn hồi của lò xo mô hình được xác định dựa vào mô đun đàn hồi E , độ biến dạng của cáp tời và số lượng cáp, cáp tời có đường kính bằng D , số lượng cáp của tời trên một nhánh cáp treo thang là n_c , lực căng trong cáp tời là T_c . Khi đó, theo [13], [15], độ cứng của lò xo mô hình được xác định theo công thức:

$$k = n_c \frac{\pi D^2 E}{4l_0} \quad (3)$$

3. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN DAO ĐỘNG CỦA SÀN TREO XÂY DỰNG VÀ CÁC HỆ THỨC

Bằng phương pháp giải tích, dựa trên lý thuyết về phương trình Lagrange loại 2 trong [1,2,3,8] và sơ đồ tính toán ở hình 2, nghiên cứu này đã thiết lập được phương trình vi phân dao động của cơ hệ gồm thang và hai lò xo theo (6).

Lực hoạt động tác dụng vào cơ hệ: P, Q_v, F_{dhA}, F_{dhB} .

Lực suy rộng:

$$Q_s = P + Q_v - 2kS \quad (4)$$

Động năng của cơ hệ:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{S}^2 \quad (5)$$

Phương trình vi phân dao động của cơ hệ:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{S}} - \frac{\partial T}{\partial S} = Q_s \Leftrightarrow \ddot{S} + \frac{2k}{m} S = g + \frac{Q_v}{m} \quad (6)$$

Giải phương trình (6) cho phép ta xác định được biên độ dao động của thang cũng như tính toán được lực căng dây cáp trong giai đoạn khảo sát.

Theo lý thuyết dao động [7], khảo sát phương trình (6), ta có ω_s là tần số dao động riêng của thang:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{2k}{m}} = \sqrt{\frac{\pi D^2 E}{2ml_0}} \quad (7)$$

Xét thang đang chuyển động với vận tốc hướng lên bằng v_0 nào đó thì thang bị phanh hãm để dừng lại, hiện tượng dao động nhỏ

xảy ra. Từ (6), với chú ý $Q_v = 0$, ta có phương trình vi phân dao động của thang trong trường hợp này là:

$$\ddot{S} + \frac{2k}{m}S = g \Leftrightarrow \ddot{S} + \omega_s^2 S = g \quad (8)$$

Theo lý thuyết phương trình vi phân [12], [14], nghiệm tổng quát của (8) là:

$$S(t) = C_1 \sin \omega_s t + C_2 \cos \omega_s t + \frac{g}{\omega_s^2} \quad (9)$$

Điều kiện đầu của bài toán Cosi đang được xét là:

$$S|_{t=0} = \Delta l = \frac{P}{2k} = \frac{g}{\omega_s^2}; \dot{S}|_{t=0} = -v_o \quad (10)$$

Việc xác định trị số v_o tại thời điểm đầu của quá trình xuất hiện hiện tượng dao động của thang trước khi thang dừng lại là khá khó khăn phụ thuộc nhiều yếu tố. Trong trường hợp xét an toàn, giả thiết v_o lấy bằng vận tốc lớn nhất mà thang có thể đạt được.

Nghiệm riêng của thang trong trường hợp đang xét là:

$$S(t) = -\frac{v_o}{\omega_s} \sin \omega_s t + \frac{g}{\omega_s^2} \quad (11)$$

Khảo sát (11), trị số độ giãn lớn nhất của cáp tời:

$$S_{max} = \frac{v_o}{\omega_s} + \frac{g}{\omega_s^2} \quad (12)$$

Biên độ dao động lớn nhất mà thang có thể đạt được:

$$A_{max} = \frac{v_o}{\omega_s} \quad (13)$$

Lực căng lớn nhất trong dây cáp, với chú ý $k = \frac{m\omega_s^2}{2}$ ta có được:

$$T_{max}^v = kS_{max} = \frac{m(\omega_s v_o + g)}{2} \quad (14)$$

Các công thức (12), (13), (14) cho phép xác định gần đúng độ giãn dài của cáp tời, biên độ dao động và lực căng lớn nhất của dây cáp trong trường hợp thang đang vận hành bình ổn với vận tốc v_o và chuyển sang trạng thái phanh hãm để dừng thang.

Xét thang dao động cộng hưởng theo phương thẳng đứng dưới tác dụng của lực kích thích dạng điều hòa với tần số của lực bằng tần số riêng của thang khi dao động.

$$\begin{cases} Q_v = Q_{ov} \sin \omega_s t \\ \omega_s = \sqrt{\frac{2k}{m}} \end{cases} \quad (15)$$

Thay vào (6), ta được phương trình vi phân dao động theo phương thẳng đứng của hệ dưới tác dụng của lực kích thích điều hòa trong trường hợp xảy ra cộng hưởng:

$$\ddot{S} + \omega_s^2 S = g + \frac{Q_{ov}}{m} \sin \omega_s t \quad (16)$$

Theo lý thuyết phương trình vi phân [12,14], nghiệm tổng quát của (16) là:

$$S(t) = C_1 \sin \omega_s t + C_2 \cos \omega_s t + \frac{Q_{ov}}{2m\omega_s^2} (\sin \omega_s t - t\omega_s \cos \omega_s t) + \frac{g}{\omega_s^2} \quad (17)$$

Khi thang ở trạng thái cân bằng thì chịu thêm tác dụng của lực kích động $Q_v = Q_{ov} \sin \omega_s t$, điều kiện đầu bài toán Cosi trong trường hợp này là:

$$S|_{t=0} = \Delta l = \frac{P}{2k} = \frac{g}{\omega_s^2}; \dot{S}|_{t=0} = 0 \quad (18)$$

Nghiệm riêng của thang trong trường hợp dao động cộng hưởng là:

$$S(t) = \frac{Q_{ov}}{2m\omega_s^2} (\sin \omega_s t - t\omega_s \cos \omega_s t) + \frac{g}{\omega_s^2} \quad (19)$$

Trong (19), trị số ω_s cần được khảo sát trong phạm vi rải phổ tần số dao động riêng của thang, hay $\omega_s \in [\omega_{min}, \omega_{max}]$, khi vận hành trên miền giá trị hàm $S(t) > 0$.

Qua khảo sát đồ thị của hàm $S(t)$, với chú ý $S(t) > 0$, xác định được khoảng thời gian xảy ra dao động cộng hưởng $t \in (0, t_c)$. Để xác định gần đúng trị số t_c ta chia nhỏ bước thời gian đồng thời khảo sát dấu của $S(t)$ hoặc có thể vẽ đồ thị hàm $S(t)$ bằng các phần mềm tính toán để khảo sát tìm gần đúng trị số t_c . Từ đó xác định được thời điểm $t = t_{smax} \in (0, t_c)$ mà tại thời điểm đó hàm số đạt giá trị cực đại đồng thời là giá trị lớn nhất của độ dãn $S_{max} = S|_{t=t_{smax}}$. Khi đó, t_{smax} là nghiệm lớn nhất của hệ sau:

$$\begin{cases} 0 \leq t \leq t_c \\ \sin \omega_s t = 0 \\ \cos \omega_s t = -1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t = \frac{(2n+1)\pi}{\omega_s} \\ 0 \leq n \leq Round[\frac{1}{2}(\frac{\omega_s t_c}{\pi} - 1)] \end{cases} \quad (20)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t_{smax} = \frac{(2n_{max} + 1)\pi}{\omega_s} \\ n_{max} = Round[\frac{1}{2}(\frac{\omega_s t_c}{\pi} - 1)] \end{cases}$$

Lực căng lớn nhất trong dây cáp được xác định theo công thức (21):

$$\begin{aligned} T_{max} &= kS_{max} \\ \Rightarrow T_{max} &= \frac{kQ_{ov}}{2m\omega_s^2} (t_{smax} \omega_s) + \frac{kg}{\omega_s^2}; k = \frac{m\omega_s^2}{2} \\ \Rightarrow T_{max} &= \frac{Q_{ov}}{4} t_{smax} \omega_s + \frac{mg}{2} \end{aligned} \quad (21)$$

4. KẾT QUẢ SỐ VÀ THẢO LUẬN:

Nghiên cứu này được khảo sát với số liệu cụ thể như sau:

Khối lượng thang được xét khi dao động trong trường hợp khi có tải: $m = m_o + m_h = 700kg$

Cáp treo có thông số: $D = 12mm; E = 17000kN/cm^2$

Vận tốc khi thang vận hành đi lên (hoặc xuống) với ba cấp vận tốc: $v_o = 0.05; 0.075; 0.1m/s$

Chiều dài cáp được xét: $l_o = 5; 10; \dots; 100m$

Gia tốc trọng trường: $g \approx 10m/s^2$

4.1. Ảnh hưởng của chiều dài cáp l_o tới biên độ dao động và độ giãn dây cáp:

Xét trường hợp cáp treo dùng loại $D = 12mm$ và vận tốc $v_o = 0.1m/s$, kết quả tính toán trị số biên độ A_{max} và độ giãn dài S_{max} thay đổi theo một số mức độ dài cáp như Bảng 1.

Bảng 1. Bảng trị số biên độ dao động và độ giãn lớn nhất của dây cáp thay đổi theo độ dài cáp

Độ dài cáp $l_o(m)$	Khối lượng $m=700kg$		
	Tần số $\omega_s(rad/s)$	Biên độ $A_{max}(m)$	Độ giãn cáp $S_{max}(m)$
5	104.817	0.00095	0.00186
20	52.4085	0.00191	0.00555
50	33.146	0.00302	0.01212
75	27.0636	0.00369	0.01735
100	23.4378	0.00427	0.02247

4.2. Ảnh hưởng của chiều dài cáp l_o và vận tốc thang tới lực căng dây cáp:

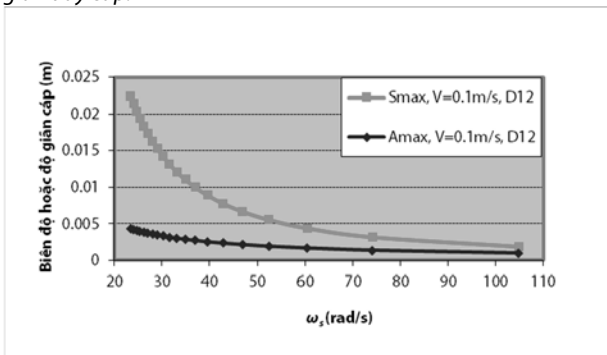
Bảng 2. Bảng trị số lực căng dây cáp thay đổi theo một số mức độ dài cáp ứng với ba cấp vận tốc

Bảng 3. Biên độ dao động và độ giãn dây cáp khi thang dao động cộng hưởng ứng với lực kích thích có biên độ $Q_{ov} = 0.1P = 700N$

Độ dài cáp $l_0(m)$	Trị số biên độ $Q_{ov}=0.1P(N)$	Thời điểm đầu $t_0(s)$	Thời điểm đạt S_{max} ứng với $t_{smax}(s)$	Thời điểm cuối xét quá trình dao động $t_c(s)$ - khi $S>0$	Độ cứng k (N/m)	Tần số $\omega_s(rad/s)$	Biên độ $A_{max}(m)$	Độ giãn cáp $S_{max}(m)$
5	700	0	0.2098	0.2336	3845309	104.82	0.00096	0.001911
10	700	0	0.2967	0.3303	1922655	74.117	0.00191	0.003822
15	700	0	0.3634	0.4045	1281770	60.516	0.00287	0.005733
20	700	0	0.4196	0.4671	961327	52.408	0.00382	0.007644
25	700	0	0.4691	0.5222	769062	46.876	0.00478	0.009555
30	700	0	0.5139	0.572	640885	42.791	0.00573	0.011466
35	700	0	0.5551	0.6179	549330	39.617	0.00669	0.013377
40	700	0	0.5934	0.6605	480664	37.058	0.00764	0.015288
45	700	0	0.6294	0.7006	427257	34.939	0.0086	0.017199
50	700	0	0.6635	0.7385	384531	33.146	0.00956	0.01911
55	700	0	0.6958	0.7745	349574	31.604	0.01051	0.021021
60	700	0	0.7268	0.809	320442	30.258	0.01147	0.022932
65	700	0	0.7565	0.842	295793	29.071	0.01242	0.024843
70	700	0	0.785	0.8738	274665	28.014	0.01338	0.026754
75	700	0	0.8126	0.9044	256354	27.064	0.01433	0.028665
80	700	0	0.8392	0.9341	240332	26.204	0.01529	0.030576
85	700	0	0.865	0.9629	226195	25.422	0.01624	0.032487
90	700	0	0.8901	0.9908	213628	24.706	0.0172	0.034398
95	700	0	0.9145	1.0179	202385	24.047	0.01815	0.036309
100	700	0	0.9383	1.0444	192265	23.438	0.01911	0.03822

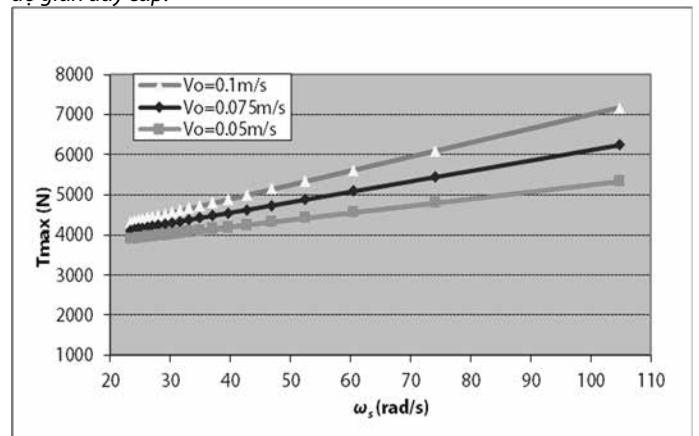
Độ dài cáp $l_0(m)$	Khối lượng $m=700kg$, cáp D12		
	$T_{max}(N)$ ($v_0=0.1m/s$)	$T_{max}(N)$ ($v_0=0.075m/s$)	$T_{max}(N)$ ($v_0=0.05m/s$)
5	7169	6251	5334
20	5334	4876	4417
50	4660	4370	4080
75	4447	4210	3974
100	4320	4115	3910

4.3. Ảnh hưởng của tần số dao động riêng tới biên độ dao động và độ giãn dây cáp:



Hình 3. Quan hệ giữa biên độ dao động-độ giãn dây cáp và tần số dao động riêng

4.4. Ảnh hưởng của tần số dao động riêng tới biên độ dao động và độ giãn dây cáp:



Hình 4. Quan hệ giữa lực căng dây cáp và tần số dao động riêng

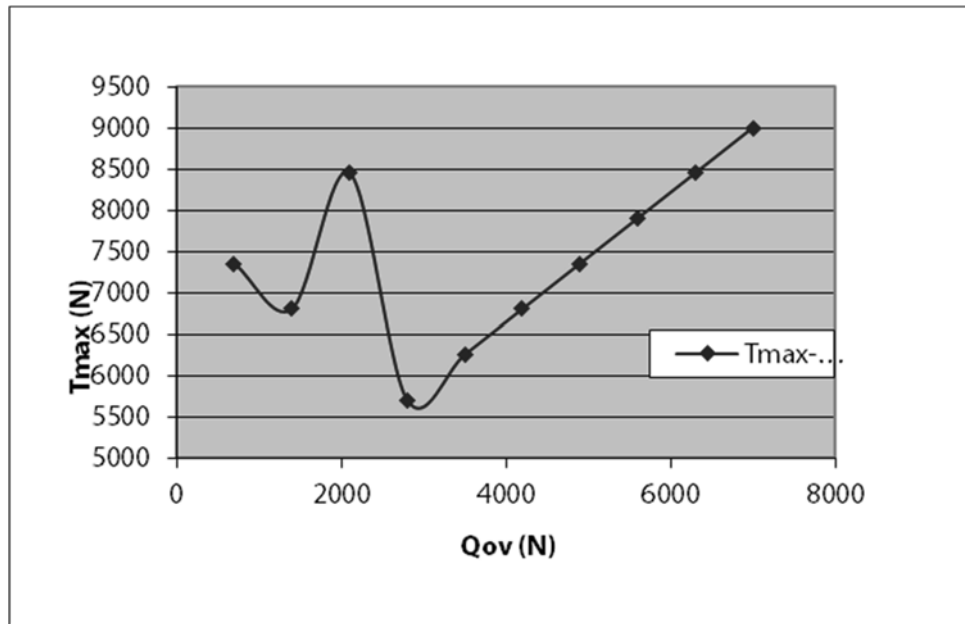
4.5. Biên độ dao động và độ giãn dây cáp trong trường hợp cộng hưởng:

Xét với thang có số liệu như sau:

Tổng khối lượng toàn tải: $m = 700kg$; $P = 7000N$

Cáp treo (cáp tời): $D = 12mm$; $E = 17000kN/cm^2$

Chiều dài cáp được xét: $l_0 = 5; 10; \dots; 100m$



Hình 5. Quan hệ giữa lực căng dây cáp lớn nhất T_{max} và biên độ lực kích thích Q_{ov}

Thang đang ở trạng thái cân bằng tĩnh thì chịu tác dụng của lực kích động điều hòa được cho theo công thức (15), trong đó biên độ lực kích động: $Q_{ov} = 0.1P; 0.2P; \dots$ Tần số của lực kích động giả thiết trùng với tần số dao động riêng của thang tại vị trí được xét. 4.6. *Lực căng dây cáp trong trường hợp cộng hưởng:*

Dựa trên kết quả tính toán số cụ thể, đối với bài toán sàn treo xây dựng chịu tác dụng của tải trọng động được mô hình hóa ở bài toán ở dạng điều hòa và mô hình sàn treo xây dựng chịu lực kích thích tác dụng lên sàn treo, nhận thấy (sàn treo) thang dao động đáng kể. Với các thông số thay đổi như khối lượng, hệ số đàn hồi, độ dài dây cáp và đường kính cáp, có thể thấy sự thay đổi khối lượng của sàn treo có ảnh hưởng tới tần số dao động riêng, dẫn tới thay đổi biên độ dao động và độ giãn dây cáp. Qua bảng tính và đồ thị quan hệ, nhận thấy biên độ dao động và độ giãn của cáp treo không chỉ phụ thuộc vào khối lượng thang khi dao động mà còn phụ thuộc vào tần số dao động riêng và độ dài của cáp. Khi độ dài dây cáp tăng thì biên độ dao động, độ giãn dây cáp tăng và ngược lại. Đối với trường hợp dao động cộng hưởng của thang thì trị số biên độ của lực kích thích là yếu tố chính ảnh hưởng đến lực căng trong cáp.

5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở lý thuyết và thực tiễn, bài báo này đã nghiên cứu bài toán sàn treo dao động theo phương đứng khi chịu tải trọng động với giả thiết dây cáp làm việc đàn hồi. Bằng phương pháp mô hình hóa và giải tích, bài báo đã mô hình hóa sàn treo xây dựng trong thực tế, thiết lập phương trình vi phân dao động của sàn treo, đưa ra nghiệm giải tích của bài toán, nhằm tính toán lực căng, biên độ dao động và độ giãn dây cáp của sàn treo xây dựng, đồng thời khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến lực căng, biên độ dao động và độ giãn dây cáp qua ví dụ số. Nghiên cứu này góp phần nhỏ giúp các kỹ sư tham khảo để lựa chọn được giải pháp an toàn một cách phù hợp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) trong đề tài có mã số 21-2022/KHXD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trọng Chuyên, Nguyễn Văn Đào, Ngô Văn Thảo, *Cơ học lý thuyết*, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
- [2] Phan Văn Cúc, Vũ Bá Mai, *Cơ học cơ sở 1*, NXB Xây dựng 2006.
- [3] Đinh Thế Hạnh, *Cơ học cơ sở 2*, NXB giáo dục 1999.
- [4] Dr. Sadhu Singh, *Engineering Mechanics*.
- [5] Mr. Nexiez, *Mitsubishi Electric*.
- [6] Phạm Ngọc Thao, *Giáo trình giải tích*, Trường Đại học Đại cương, Hà Nội 1996.
- [7] Nguyễn Văn Khang, *Dao động kỹ thuật*, NXB Khoa học kỹ thuật 1998.
- [8] Nguyễn Văn Khang, *Cơ học kỹ thuật*, NXB Giáo dục kỹ thuật 2009.
- [9] PGS.TS Vũ Liêm Chính, TS Phạm Quang Dũng, ThS Hoa Văn Ngũ, *Thang máy cấu tạo - lựa chọn lắp đặt và sử dụng*, NXB Khoa học kỹ thuật 2000.
- [10] TCXDVN 296:2004 về giàn giáo - các yêu cầu về an toàn.
- [11] TCVN 5744_1993 về thang máy.
- [12] Nguyễn Ngọc Cừ, Lê Huy Đạm, Trịnh Danh Đăng, Trần Thanh Sơn, *Giải Tích II: Hàm nhiều biến, tích phân hàm nhiều biến và phương trình vi phân*, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội 2006.
- [13] PGS.TS Trần Văn Liên, *Sức bền vật liệu*, NXB xây dựng 2013.
- [14] Nguyễn Thế Hoàn, Phạm Phú, *Cơ sở phương trình vi phân và lý thuyết ổn định*. Nhà xuất bản giáo dục Hà Nội 2003.
- [15] Đào Huy Bích, *Lý thuyết đàn hồi*. NXB Đại học quốc gia 2000.
- [16] TCXDVN 4244:2005 về thiết bị nâng.
- [17] TCVN 6395:2008 về thang máy điện.
- [18] Tarcisio Abreu Saurin; Lia Buarque de Macedo Guimarães, "Ergonomic assessment of suspended scaffolds". *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 38, issue 2 (2008).
- [19] Rubio-Romero, Juan Carlos; Carmen Rubio Gámez, M.; Carrillo-Castrillo, Jesús Antonio, "Analysis of the safety conditions of scaffolding on construction sites. *Safety Science*". *Safety Science*, Volume 55, 2013, pp. 160-164.
- [20] Barış Sevim, Serkan Bekiroglu and Güray Arslan, "Experimental evaluation of tie bar effects on structural behavior of suspended scaffolding systems". *Advanced Steel Construction* Vol. 13, No. 1, pp. 62-77 (2017).
- [21] Hill, H.J., Searer, G.R., Dethlefs, R.A., Lewis, J.E. and Paret, T.F., "Designing Suspended Scaffold Structural Support Elements and Lifeline Anchorages in Conformance with Federal OSHA Requirements". *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, ASCE, 2010, Vol. 15, pp. 186-193.