

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN ĐÁP ỨNG DAO ĐỘNG CỦA DẦM DƯỚI TÁC DỤNG CỦA LỰC DI ĐỘNG

Bùi Văn Tuyền¹, Nguyễn Trọng Dũng¹

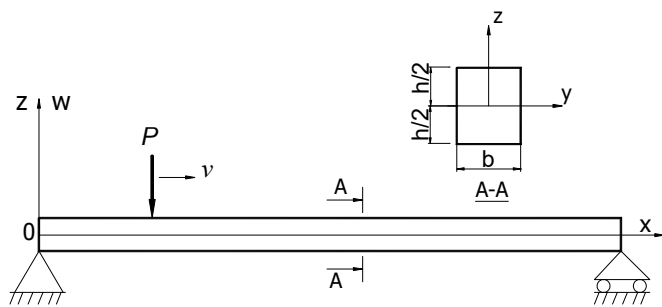
¹Trường Đại học Thủy lợi, email: tuyenbv@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Như chúng ta đã biết, đối với một dầm đàn hồi với các đầu cố định ứng suất nén sẽ sinh ra khi nhiệt độ tăng. Kết quả của (Lestari và Hanagud, 2001), (Cvetcanin và Atanackovic, 1994) đã chỉ ra rằng tần số riêng của dầm bị nén cơ học giảm khi lực nén dọc trục tăng. Nghiên cứu của (Li, nnk; 2014) cho thấy tất cả các tần số của dầm đều giảm liên tục cùng với sự gia tăng của nhiệt độ. Và các điều kiện biên có ảnh hưởng rõ ràng đến mối quan hệ nhiệt độ tần số. Theo tác giả được biết chưa có nghiên cứu nào về đáp ứng động lực học của dầm trong môi trường nhiệt độ.

Trên cơ sở lý thuyết dầm Euler-Bernoulli và phương pháp phần tử hữu hạn, nghiên cứu này xét ảnh hưởng của nhiệt độ đến đáp ứng động lực học của dầm giản đơn. Phương trình chuyển động cho dầm được thiết lập dựa vào nguyên lý Hamilton. Đáp ứng động lực học được tính toán với sự trợ giúp của phương pháp tích phân trực tiếp Newmark.

2. PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN CHO DẦM CHỊU TẢI DI ĐỘNG TRONG MÔI TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ



Hình 1. Dầm giản đơn chịu tác động của lực di động

Xét dầm trong hệ trục tọa độ Đề - các như minh họa trên hình 1. Các thông số L, A, I, E, ρ, α lần lượt là chiều dài, diện tích, mô men quán tính bậc 2 của tiết diện, mô đun đàn hồi, khối lượng riêng và hệ số dẫn nở nhiệt của vật liệu.

Dầm được xem xét trong môi trường nhiệt độ. Mô đun đàn hồi E và hệ số dẫn nở nhiệt α của vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ xác định qua công thức (Touloukian, 1967).

$$E = E_0 \left(E_{-1}T^{-1} + 1 + E_1T + E_2T^2 + E_3T^3 \right) \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha_0 \left(\alpha_{-1}T^{-1} + 1 + \alpha_1T + \alpha_2T^2 + \alpha_3T^3 \right)$$

Trong đó: $T = T_0 + \Delta T(z)$ là nhiệt độ môi trường, với $T_0 = 300K$ là nhiệt độ phòng; $E_0, E_{-1}, E_1, E_2, E_3$ và $\alpha_0, \alpha_{-1}, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ là các hệ số của mô đun đàn hồi và dẫn nở nhiệt phụ thuộc vào các loại vật liệu khác nhau, $\Delta T(z)$ là lượng tăng nhiệt độ.

Theo lý thuyết dầm Euler-Bernoulli, chuyển vị của một điểm bất kỳ trên dầm theo phương x và z là u_1 và u_3 cho bởi.

$$u_1(x, z, t) = u(x, t) - zw_{,x}(x, t) \quad (2)$$

$$u_3(x, z, t) = w(x, t)$$

Năng lượng biến dạng đàn hồi của dầm là

$$U_B = \frac{1}{2} \int_0^L \left[A_{11}u_{,x}^2 - 2A_{12}u_{,x}w_{,xx} + A_{22}w_{,xx}^2 \right] dx \quad (3)$$

Năng lượng biến dạng do sự tăng của nhiệt độ được xác định (Kien và Tuyen, 2017)

$$U_T = \frac{1}{2} \int_0^L N_T w_{,x}^2 dx \quad (4)$$

Trong công thức (3) và (4).

$$(A_{11}, A_{12}, A_{22}) = \int_A E(T) \left(1, z, z^2 \right) dA \quad (5)$$

$$N_T = -E(T)\alpha(T)\Delta TA \quad (6)$$

A_{11}, A_{12}, A_{22} là độ cứng dọc trục, độ cứng tương hỗ giữa chống uốn và dọc trục và độ cứng chống uốn; N_T lực dọc trục sinh ra do ứng suất nhiệt

Động năng của dầm là:

$$T = \frac{1}{2} \int_0^L [I_{11}(\dot{u}^2 + \dot{w}^2) - I_{12}u\dot{w}'_x + I_{22}\dot{w}'_x{}^2] dx \quad (7)$$

Trong đó I_{11}, I_{12}, I_{22} là các mô men khối lượng dọc trục, tương hỗ giữa dọc trục - xoay và xoay của tiết diện ngang

$$(I_{11}, I_{12}, I_{22}) = \int_A \rho(l, z, z^2) dA \quad (8)$$

Thế năng của lực di động là:

$$\mathcal{V} = -Pw(x)\delta(x-vt) \quad (9)$$

Trong đó: P là biên độ của lực, $\delta(\cdot)$ là hàm Dirac delta, x là tham số tọa độ tính từ đầu trái của dầm, v là vận tốc của lực.

Áp dụng nguyên lý Hamilton ta có thể viết phương trình vi phân chuyển động của dầm dưới dạng.

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{L} dt = \delta \int_{t_1}^{t_2} [T - (U_B + U_T + \mathcal{V})] dt = 0 \quad (10)$$

Để giải phương trình (10) ta dùng phương pháp phần tử hữu hạn. Phần tử có chiều dài là l . Véc tơ chuyển vị nút của một phần tử là

$$\mathbf{d} = \{u_i \quad w_i \quad \theta_i \quad u_j \quad w_j \quad \theta_j\}^T \quad (11)$$

Chuyển vị dọc trục u và chuyển vị ngang w được biểu diễn qua chuyển vị nút là:

$$u = \mathbf{N}_u^T \mathbf{d}, \quad w = \mathbf{N}_w^T \mathbf{d} \quad (12)$$

Trong đó: \mathbf{N}_u và \mathbf{N}_w tương ứng là các ma trận hàm dạng của u và w . Trong nghiên cứu này, sử dụng hàm dạng tuyến tính cho \mathbf{N}_u và Hermit cho \mathbf{N}_w

Thay (12) vào các phương trình (3), (4), (7) ta có thể biểu diễn các biểu thức năng lượng dưới dạng sau đây:

$$U_B = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nel} \mathbf{d}^T (\mathbf{k}_{uu} + \mathbf{k}_{uw} + \mathbf{k}_{ww}) \mathbf{d}$$

$$U_T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nel} \mathbf{d}^T \mathbf{k}_{ww}^T \mathbf{d} \quad (13)$$

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{nel} \dot{\mathbf{d}}^T (\mathbf{m}_{uu} + \mathbf{m}_{ww} + \mathbf{m}_{u\theta} + \mathbf{m}_{\theta\theta}) \dot{\mathbf{d}}$$

Trong phương trình (13), $\mathbf{k}_{uu}, \mathbf{k}_{uw}, \mathbf{k}_{ww}$ lần lượt là ma trận độ cứng dọc trục, ma trận độ cứng tương hỗ giữa dọc trục và chống uốn, ma trận độ cứng chống uốn; \mathbf{k}_{ww}^T là ma trận độ cứng sinh ra từ việc tăng nhiệt độ; $\mathbf{m}_{uu}, \mathbf{m}_{ww}, \mathbf{m}_{u\theta}, \mathbf{m}_{\theta\theta}$, lần lượt là ma trận khối lượng nhất quán sinh ra từ chuyển dịch dọc trục; chuyển vị ngang; tương tác giữa chuyển vị dọc trục - góc xoay và góc xoay của tiết diện ngang. Ma trận độ cứng và ma trận khối lượng nhất quán tổng thể của dầm \mathbf{K}, \mathbf{M} có được từ việc ghép nối các ma trận phần tử.

Phương trình dao động của dầm (10) dưới dạng công thức phần tử hữu hạn là:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{D}} + \mathbf{K}\mathbf{D} = \mathbf{F}_{ex} \quad (14)$$

Véc tơ lực nút \mathbf{F}_{ex} được biểu diễn dưới dạng:

$$\mathbf{F}_{ex} = \{0 \ 0 \ 0 \dots 0 \dots 0 \ PN_{w1} \ PN_{w2} \ 0 \ PN_{w3} \ PN_{w4} \dots 0 \dots 0 \ 0 \ 0\}^T$$

Sử dụng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark cụ thể là phương pháp gia tốc trung bình để giải phương trình (14). Với bước thời gian được lựa chọn là 500.

3. KẾT QUẢ SỐ VÀ THẢO LUẬN

Xét dầm đơn giản làm bằng vật liệu thép không gỉ (SUS304). Các hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ của SUS304 được lấy từ (Kien và Tuyen, 2017). Thông số dầm được lựa chọn với $L/h = 20$.

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, tham số vận tốc không thứ nguyên $\beta = \pi v / \omega_1 L$ và tham số về độ võng $D_d = \max(w(L/2, t) / wst)$ trong đó $wst = PL^3 / 48EI$ là độ võng tĩnh giữa dầm khi lực tại giữa dầm được sử dụng, ω_1 là tần số cơ bản của dầm.

Bảng 1. Bảng so sánh tham số về độ võng tại giữa dầm trong trường hợp $\Delta T = 0K$

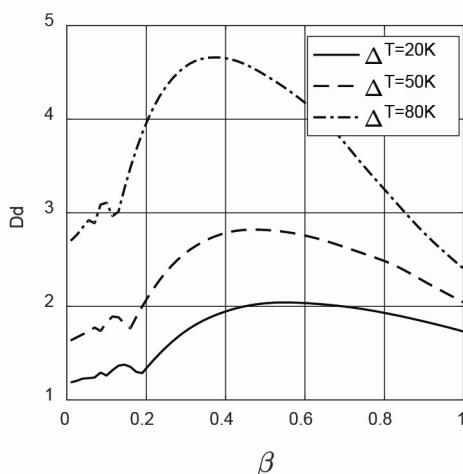
β	D_d	
	Olsson	Bài báo
0.125	1.121	1.1210
0.25	1.258	1.2583
0.5	1.705	1.7048
1	1.548	1.5483

Để đánh giá tính chính xác của mô hình phần tử và chương trình tính toán số cần

được kiểm nghiệm. Bảng 1 kết quả của tham số không thứ nguyên của độ võng lớn nhất tại giữa dầm trong trường hợp $\Delta T=0K$, số phần tử là 20. Kết quả này được so sánh với công bố trước đó của (Olsson, 1991) cho thấy sự hội tụ, độ tin cậy và tính chính xác của chương trình số.

Bảng 2. Bảng giá trị tham số độ võng với các giá trị tăng của ΔT

β	D_d		
	$\Delta T = 20K$	$\Delta T = 40K$	$\Delta T = 80K$
0.125	1.3542	1.6812	2.9246
0.25	1.5628	2.0313	4.3499
0.5	2.0333	2.4993	4.4714
1	1.7308	1.933	2.4024

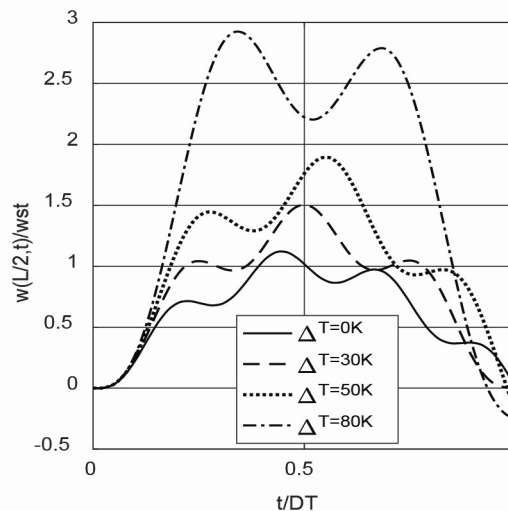


Hình 2. Mối quan hệ giữa D_d và tham số vận tốc với các giá trị ΔT khác nhau

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ võng giữa dầm được thể hiện ở trong bảng 2. Với cùng 1 giá trị của vận tốc khi nhiệt độ tăng thì độ võng động giữa dầm cũng tăng nhanh. Độ võng D_d đạt được giá trị lớn nhất ở vận tốc nhỏ hơn khi tăng nhiệt độ thể hiện rõ trên hình 2.

Tại vận tốc lực di động khảo sát, dầm có khuynh hướng thực hiện ít chu trình dao động hơn khi giá trị của trường nhiệt độ lớn hơn. Hiện tượng này có thể được lý giải bởi thực tế là tần số dao động cơ bản của dầm thấp hơn khi giá trị của sự tăng nhiệt độ ΔT lớn hơn, và điều này dẫn tới sự tăng của tỷ số giữa vận tốc của lực di động và vận tốc tới

hạn, (Olsson, 1991) đã chỉ ra rằng khi tỷ số v/v_{cr} càng lớn, số chu trình dao động mà dầm thực hiện càng ít đi.



Hình 3. Mối quan hệ giữa độ võng giữa dầm theo thời gian với các giá trị ΔT khác nhau, $\beta = 0.125$

4. KẾT LUẬN

Nhiệt độ có ảnh hưởng rất lớn đến độ võng động của dầm. Độ võng động tăng nhanh khi nhiệt độ môi trường tăng và vận tốc tại đó độ võng động đạt giá trị lớn nhất giảm khi nhiệt độ tăng. Các kết quả nghiên cứu là cơ sở để lựa chọn các thông số hợp lý cho việc thiết kế dầm trong môi trường nhiệt độ cao.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y.S.Touloukian (1967), *Thermophysical Properties of High Temperature Solid Materials*, New York, Macmillan.
- [2] Nguyen Dinh Kien, Bui Van Tuyen (2017) *Dynamic Analysis of Functionally Graded Timoshenko Beams in Thermal Environment Using a Higher-Order Hierarchical Beam Element*, Mathematical Problem in engineering.
- [3] M. Olsson (1991), On the fundamental moving load problem, *Journal of Sound and Vibration*, 145(2), 299-307