

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA DẦM CHÍNH CẦU TRỤC

APPLYING ANSYS SOFTWARE TO ANALYSE FREE VIBRATION OF THE BEAM OF OVERHEAD CRANE

Đỗ Hữu Tuấn, Phùng Công Dũng
Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Khi tính toán thiết kế kết cấu thép của dầm cầu trục, ngoài việc đảm bảo độ bền tĩnh, cần có thêm các phân tích động lực học, nhất là dao động. Mặc dù có nhiều tác giả nghiên cứu các mô hình lý thuyết, tuy nhiên chưa xem xét đến mô hình thực tế của dầm. Bài báo trình bày phương pháp sử dụng phần mềm ANSYS để tính toán đặc trưng dao động tự do của kết cấu thép dầm cầu trục. Trong bài báo này, kết cấu dầm cầu trục được phân tích theo các bước phân tích MODAL của phần mềm. Kết quả phân tích phục vụ quá trình thiết kế kết cấu dầm cũng như quyết định chế độ làm việc của cơ cấu nâng hàng của cầu trục.

Từ khoá: *Dao động của kết cấu dầm; Động lực học thiết bị nâng; Ứng dụng phần mềm ANSYS.*

ABSTRACT

When designing the steel structure of beams of overhead cranes, in addition to ensuring static durability, additional dynamic analysis, especially vibration, is needed. Although many authors have studied theoretical models, they have not considered the actual model of beams. This article presents the method of using ANSYS software to calculate the free vibration characteristics of the beams. In this article, the beam is analyzed according to the MODAL analysis steps. The analysis results serve the process of designing the beam structure as well as deciding the working mode of the overhead crane's lifting mechanism.

Keywords: *Lateral Vibration of Beam; Dynamics of Lifting Machines; Applications of ANSYS.*



1. MỞ ĐẦU

Cầu trục là thiết bị nâng được sử dụng phổ biến trong các nhà xưởng, kho bãi để nâng hạ, di chuyển các hàng nâng có khối lượng và chiều cao nâng lớn. Cấu tạo cầu trục gồm kết cấu thép và các bộ máy. Trong đó, kết cấu thép chịu toàn bộ phần tải trọng nâng. Ngoài ra, trong quá trình các bộ máy làm việc sẽ gây ra dao động cho kết cấu, nhất là các quá trình thay đổi tải trọng đột ngột. Điều này có thể dẫn đến hiện tượng dao động cộng hưởng, mà kết quả có thể phá hủy kết cấu của máy. Việc phân tích, xác định tần số dao động riêng của kết cấu thép là cần thiết và là một trong những thông số quan trọng để thiết kế kết cấu dầm cũng như quyết định chế độ làm việc của cầu trục.

Các nghiên cứu về dao động riêng của kết cấu dầm đã được các tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu về mặt lý thuyết như: [1], [3], [4], các tác giả đã thiết lập phương trình dao động riêng của dầm với các điều kiện biên liên kết khác nhau, từ đó đưa ra các phương pháp giải tìm được các đặc trưng của loại dao động này.

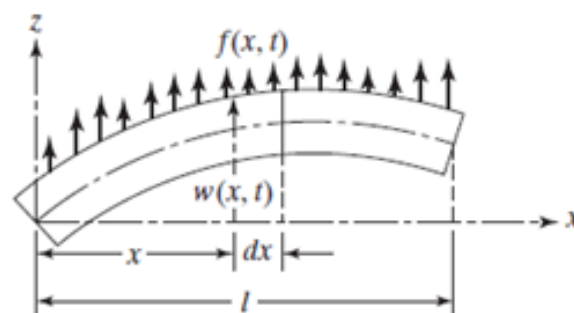
Đối với dạng kết cấu liên tục như kết cấu dầm, các phân tích số về dao động thường sử dụng mô hình phần tử hữu hạn. Trong đó, kết cấu được chia lưới thành các phần tử liên kết với nhau tại các nút và phân tích theo các bước của phân tích MODAL. Với phương pháp phân tích số, mô hình không gian của dầm được phân tích bằng phần mềm ANSYS cho phép phân tích mô hình sát nhất với kết cấu thực tế và có thể mô hình hóa dầm cùng với các bộ phận tăng cứng mà trong các nghiên cứu lý thuyết cơ bản chưa giải quyết.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

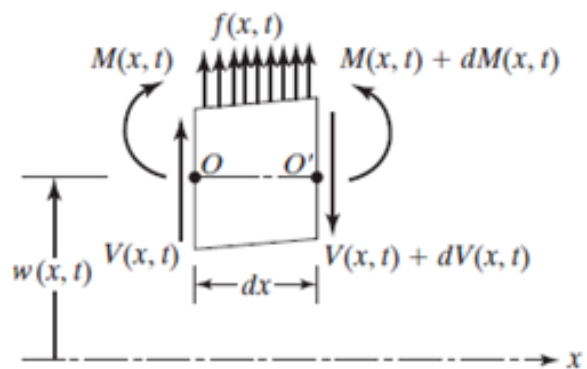
2.1. Cơ sở lý thuyết

2.1.1. Xây dựng phương trình chuyển động ngang của dầm

Theo [4], dao động ngang của dầm được xem xét như hình 1, trong đó $M(x,t)$ là mô-men uốn, $V(x,t)$ là lực cắt và $f(x,t)$ là tải trọng phân bố.



a)



b)

Hình 1. Mô hình dầm chịu uốn

Phương trình dao động theo phương z của dầm được tính theo công thức:

$$-(V + dV) + f(t, x).dx + V = \rho.A(x).dx.\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) \quad (1)$$

Trong đó:

ρ – Khối lượng riêng của vật liệu chế tạo dầm;

$A(x)$ – Diện tích mặt cắt ngang của dầm.

Phương trình chuyển động quanh trụ y vuông góc với mặt phẳng vẽ tại điểm O:

$$(M + dM) - (V + dV).dx + f(x, t).dx \cdot \frac{dx}{2} - M = 0 \quad (2)$$

Theo lý thuyết mô hình dầm chịu uốn của Euler-Bernoulli, ta có:

$$M(x, t) = E.I(x) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}(x, t) \quad (3)$$

Trong đó:

E – Mô-đun đàn hồi của vật liệu;

I(x) – Mô-men quán tính của mặt cắt dầm quanh trục y.

Phương trình chuyển động của dầm dưới tác dụng của lực phân bố không đều như sau:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[E.I(x) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}(x, t) \right] + \rho.A(x) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) = f(x, t) \quad (4)$$

Với dầm có mặt cắt không thay đổi, phương trình thu gọn như sau:

$$E.I. \frac{\partial^4 w}{\partial x^4}(x, t) + \rho.A. \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) = f(x, t) \quad (5)$$

Khi xét dao động tự do của dầm $f(x, t) = 0$, phương trình (5) viết lại thành:

$$c^2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4}(x, t) + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) = 0 \quad (6)$$

Trong đó, hằng số c được định nghĩa như sau:

$$c = \sqrt{\frac{E.I}{\rho.A}} \quad (7)$$

2.1.2. Các điều kiện ban đầu của bài toán

Phương trình chuyển động (6) gồm đạo hàm bậc hai theo thời gian, và đạo hàm bậc bốn theo tọa độ, nên cần hai điều kiện ban đầu và bốn điều kiện biên để xác định được phương trình $w(x, t)$, các điều kiện thường là:

$$\begin{aligned} w(x, t = 0) &= w_0(x) \\ \frac{\partial w}{\partial t}(x, t = 0) &= \dot{w}_0(x) \end{aligned} \quad (8)$$

2.1.3. Giải tìm nghiệm của phương trình chuyển động

Để giải phương trình (6), sử dụng phương pháp phân ly biến số như sau:

$$w(x, t) = W(x).T(t) \quad (9)$$

Thay thế phương trình (9) và các đạo hàm của nó vào phương trình (6), ta có:

$$\frac{c^2}{W(x)} \cdot \frac{d^4 W(x)}{dx^4} = -\frac{1}{T(t)} \cdot \frac{d^2 T(t)}{dt^2} = \omega^2 \quad (10)$$

Từ phương trình (10), có thể viết lại thành hệ hai phương trình:

$$\frac{d^4 W(x)}{dx^4} - \beta^4 \cdot W(x) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{d^2 T(t)}{dt^2} + \omega^2 \cdot T(t) = 0 \quad (12)$$

Trong đó, hệ số β được định nghĩa như sau:

$$\beta^4 = \frac{\omega^2}{c^2} = \frac{\rho.A.\omega^2}{E.I} \quad (13)$$

Nghiệm của phương trình (12) có dạng như sau:

$$T(t) = A.\cos\omega.t + B.\sin\omega.t \quad (14)$$

Trong đó, hai hệ số A, B xác định từ các điều kiện ban đầu.

Nghiệm của phương trình (11) được giả thiết có dạng:

$$W(x) = C.e^{s.x} \quad (15)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình đặc trưng (15) như sau:

$$W(x) = C_1.e^{\beta_1.x} + C_2.e^{-\beta_2.x} + C_3.e^{i.\beta_3.x} + C_4.e^{-i.\beta_4.x} \quad (16)$$

Trong đó, các hệ số C_1 ; C_2 ; C_3 ; C_4 và β là các hệ số xác định từ điều kiện biên.

2.2. Ứng dụng phần mềm ANSYS phân tích dao động của dầm

Mặc dù có thể sử dụng các công thức lý thuyết để xác định đặc trưng dao động, tuy nhiên kết cấu thực tế của dầm thường không lý tưởng mà có sự thay đổi về tiết diện và có các bộ phận tăng cường ổn định bên trong bụng dầm [2]. Do đó, ta cần sử dụng phương pháp số để phân tích kết cấu dầm.



Hình 2. Kích thước của dầm cầu trục

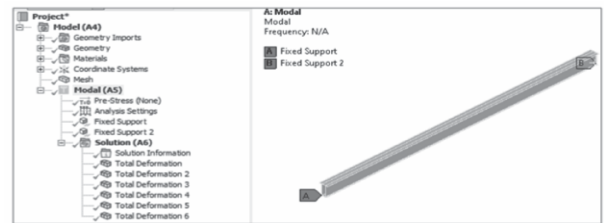
2.2.1. Xây dựng mô hình dầm trong ANSYS

Vật liệu dùng cho mô hình có các tham

số như sau: khối lượng riêng là 7850 kg/m^3 ; mô-đun đàn hồi là $2,1.10^{11} \text{ Pa}$; hệ số Poát-xông là 0,3.

Điều kiện biên liên kết của dầm: hai đầu cố định.

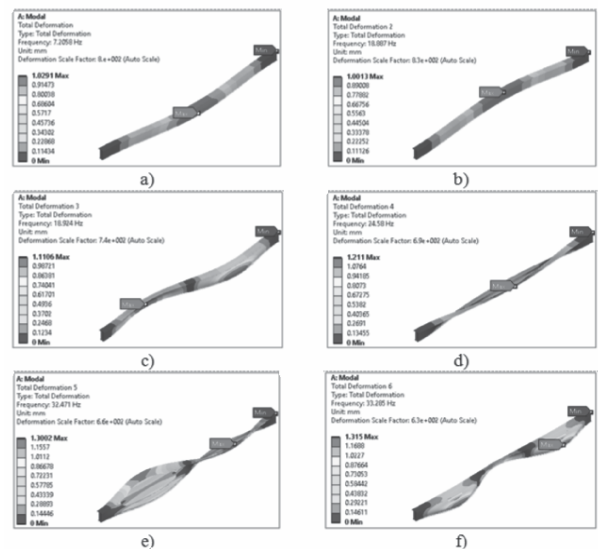
Điều kiện ban đầu: dầm đứng yên, độ võng ban đầu giả thiết bằng 0 mm.



Hình 3. Mô hình dầm trong phần mềm Ansys

2.2.2. Kết quả phân tích dao động bằng ANSYS

Bằng phân tích MODAL của ANSYS có thể tìm được các tần số dao động riêng của dầm. Ngoài ra, kết quả còn cho phép xác định độ võng của dầm. Các kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Kết quả phân tích tần số dao động của kết cấu dầm

Dựa vào kết quả phân tích với dao động ngang của dầm, kết quả được thể hiện trên Hình 4-b. Với tần số $\omega = 18,887$ (Hz). Độ võng lớn nhất 1,0013 (mm). Với hai thông số này, người thiết kế có thể sử dụng để quyết định kích thước mặt cắt sau khi đã tính toán sơ bộ và phân tích tĩnh kết cấu. Ngoài ra, việc biết tần số dao động của dầm có thể tránh được hiện tượng cộng hưởng khi thiết kế cơ cấu nâng hàng.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã áp dụng phần mềm ANSYS xây dựng được mô hình phân tích dao động tự do của dầm cầu trục với kích thước thực. Từ các bước phân tích MODAL đã tìm được tần số dao động riêng của kết cấu, cũng như độ võng của dầm theo chiều dài dầm khi dầm dao động. Kết quả phân tích giúp quyết định thông số thiết kế của dầm, cũng như quyết định chế độ làm việc của cơ cấu nâng, tránh hiện tượng cộng hưởng khi cầu trục làm việc. ❖

Ngày nhận bài: **06/02/2024**

Ngày phản biện: **08/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Văn Khang (2004); *Dao động kỹ thuật*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa (1996); *Kết cấu thép Máy xây dựng*.
- [3]. Leonard Meirovitch (2001); *Fundamentals of Vibrations*, McGraw-Hill Publishing.
- [4]. Singiresu S.Rao (2011); *Mechanical Vibrations*, Pearson Publishing.
- [5]. S.K Clark; *Dynamics of Continuous Elements*, Prentice Hall Publishing.
- [6]. I.S Habib; *Engineering Analysis Methods*, Lexington Publishing.
- [7]. A. Dimarogonas; *Vibration Engineering*, West Publishing.
- [8]. R.L. Taylor, J.Z. Zhu; *The Finite Element Method*, McGraw-Hill Publishing.
- [9]. TCVN 4244 : 2005; *Thiết bị nâng – Thiết kế, chế tạo và kiểm tra kỹ thuật*.