

Nghiên cứu giảm dao động cho tháp cầu dưới tác dụng của tải trọng động bằng thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD

■ TRẦN ĐỨC HÙNG; ĐINH TÙNG DƯƠNG; NGUYỄN THẾ DŨNG
TRẦN ĐÌNH THẮNG; TS. TRẦN NGỌC AN^(*)

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ^(*)antn.ctt@vimar.edu.vn

TÓM TẮT: Trong bài báo này, các tác giả nghiên cứu việc tính toán dao động uốn cưỡng bức của tháp cầu khi lắp thiết bị giảm chấn chất lỏng TLDs tại đỉnh tháp. Tháp cầu được xem như một dầm Euler-Bernoulli tiết diện không đổi. Các kết quả mô phỏng số cho thấy sự hiệu quả của việc sử dụng thiết bị TLDs.

TỪ KHÓA: Dao động cưỡng bức, tháp cầu, giảm chấn chất lỏng TLD, dầm Euler-Bernoulli.

ABSTRACT: In this paper, the authors present the calculation of forced vibration of a bridge pylon installed with tuned liquid dampers at the top of the pylon. The bridge pylon is considered as a Euler-Bernoulli beam with uniform section. Numerical simulation results show the effectiveness of using TLD devices.

KEYWORDS: Forced vibration, bridge pylon, tuned liquid dampers, Euler-Bernoulli beam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tháp cầu có kết cấu thanh mảnh nên rất nhạy cảm tác dụng với tác dụng của tải trọng động như gió bão, động đất. Chính vì vậy, việc nghiên cứu giảm dao động cho tháp cầu nhận được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Một trong những dạng thiết bị được nghiên cứu sử dụng là thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD (tuned liquid damper). TLD có kết cấu là một hộp chứa chất lỏng, được đặt trong lòng đỉnh tháp, có dạng hình trụ tròn hoặc hộp chữ nhật [12]. Dưới tác dụng của tải trọng động, năng lượng dao động của tháp cầu đã được chuyển hóa thành dao động của chất lỏng, từ đó làm tắt nhanh dao động của tháp. Tại Việt Nam, thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD đã được áp dụng cho tháp cầu Bãi Cháy [12]. Khi so sánh với các thiết bị giảm chấn khác (như TMD), thiết bị TLD có rất nhiều ưu điểm như dễ chế tạo, lắp đặt, dễ duy tu, bảo dưỡng, dễ điều chỉnh thông số, ngoài ra còn có tác dụng chống cháy.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu giảm chấn sử dụng TLD là rất cần thiết.

Một số nghiên cứu trong nước về TLD áp dụng cho tháp cầu có thể kể đến như [1, 5]. Trong tài liệu [1], tác giả Nguyễn Đức Thị Thu Định đã quy đổi các TLDs về thiết bị giảm chấn khối lượng-lò xo (tuned mass dampers - TMDs) tương đương, tháp cầu được quy đổi về hệ một bậc tự do, các TLDs được xem là khác nhau về tần số (đa tần số). Trong tài liệu [5], tác giả Vũ Đức Phúc đã tính toán tối ưu cho dầm công-xôn chịu tải trọng cưỡng bức phân bố đều có dạng hàm sin và lắp 3 TMDs tại 3 vị trí trên dầm. Trong tài liệu [6], tác giả nghiên cứu giảm dao động cho khung thép sử dụng TLD, có xét đến tương tác giữa chất lỏng và thành bể, hệ chính được đưa về hệ một bậc tự do.

Trong nội dung bài báo, xét tháp cầu lắp các TLDs có kích thước như nhau (đơn tần số). Các vấn đề được giải quyết như sau: Sử dụng phương pháp động lực học trong Cơ học kỹ thuật để xây dựng phương trình chuyển động của tháp cầu lắp TLDs và áp dụng phương pháp mô phỏng số để tính toán dao động cưỡng bức của tháp cầu khi lắp TLDs.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

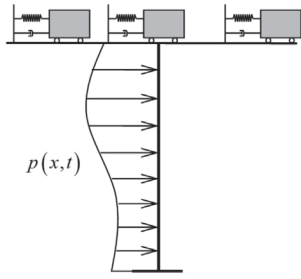
Tháp cầu được mô hình hóa về một dầm Euler-Bernoulli tiết diện không đổi, có khối lượng riêng r , khối lượng trên một đơn vị dài m , mô-đun đàn hồi E , mô-men quán tính I , chiều dài L . Trên đỉnh tháp bố trí N bộ giảm chấn chất lỏng TLDs. Các khối chất lỏng TLDs có kích thước là như nhau.

Theo các tài liệu [8, 10], thiết bị TLD có thể quy đổi về TMD tương đương. Khi đó, TMD tương đương có khối lượng, độ cứng lò xo và độ cản nhớt được xác định.

$$m = V \rho_{\text{liquid}} = 2pabh$$
$$k = 4\pi^2 mf^2, c = 2\zeta \sqrt{mk} \quad (1)$$

Trong đó: r_{liquid} - Khối lượng riêng của chất lỏng; $2a$ và h - Chiều dài và chiều cao của TLD; g - Gia tốc trọng trường; f - Tần số dao động của TLD và ζ - Tỷ số cản của TLD.

Như vậy, trong trường hợp tháp cầu chịu tác dụng của lực phân bố kích động tuần hoàn, mô hình dao động của tháp cầu lắp TLDs tại đỉnh tháp có thể được quy về mô hình tính toán như trên Hình 2.1.



Hình 2.1: Mô hình dao động của tháp cầu lắp TMDs tương đương dưới tác dụng của hệ lực phân bố

3. DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỦA THÁP CẦU KHI KHÔNG LẮP TMDs TƯƠNG ĐƯƠNG

Xét tháp cầu chịu tác dụng của lực phân bố đều dưới dạng hàm sin.

$$p = p_0 \sin \Omega t \tag{2}$$

Phương trình vi phân mô tả dao động uốn của tháp cầu khi không lắp N TMDs trên đỉnh tháp.

$$\mu \ddot{w} + EI \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + c^{(i)} \frac{\partial^5 w}{\partial x^4 \partial t} \right] = p_0 \sin \Omega t \tag{3}$$

Trong đó: $c^{(i)}$ - Hệ số nội cản nhớt.

Nghiệm của phương trình có thể tìm được dưới dạng:

$$w(x,t) = W(x)q(t) \tag{4}$$

Với: $W(x)$ - Hàm riêng dao động của tháp cầu ứng với tần số dao động thứ nhất, còn $q(t)$ là hàm cần xác định.

Tiến hành đạo hàm và tích phân phương trình (3), đưa về dạng:

$$\ddot{q}(t) + 2\delta \dot{q}(t) + \omega^2 q(t) = P(t) \tag{5}$$

Với:

$$2\delta = c^{(i)} \omega^2 \tag{6}$$

$$P(t) = \frac{p_0 \sin \Omega t \int_0^L W(x) dx}{\mu \int_0^L W^2(x) dx} \tag{7}$$

4. DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỦA THÁP CẦU KHI LẮP N TMDs TƯƠNG ĐƯƠNG

Khi lắp N TMDs trên đỉnh tháp, dao động của tháp cầu có dạng:

$$\mu \ddot{w} + EI \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + c^{(i)} \frac{\partial^5 w}{\partial x^4 \partial t} \right] = p_0 \sin \Omega t + NF\delta(x-L) \tag{8}$$

Với:

$$F(t) = k[u - w(L,t)] + c[\dot{u} - \dot{w}(L,t)] \tag{9}$$

$$= ku + c\dot{u} - kW(L)q(t) - cW(L)\dot{q}(t)$$

Trong đó: $w(L,t)$ - Chuyển vị tại đỉnh tháp; u - Chuyển vị của TMD tương đương.

Biến đổi hệ (8)-(9) về dạng:

$$\begin{aligned} \dot{q}_1(t) + b_{11}q_1 + b_{12}q_2 + c_{11}\dot{q}_1 + c_{12}\dot{q}_2 &= P(t) \\ \dot{q}_2(t) + b_{21}q_1 + b_{22}q_2 + c_{21}\dot{q}_1 + c_{22}\dot{q}_2 &= 0 \end{aligned} \tag{10}$$

Với:

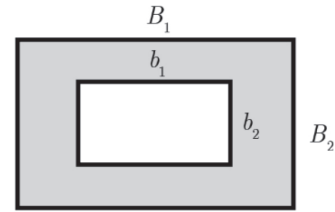
$$P(t) = p_0 \sin \Omega t \frac{\int_0^L W(x) dx}{D}; \quad D = \mu \int_0^L W^2(x) dx;$$

$$\begin{aligned} q_1 &= q; \quad q_2 = u, \\ b_{11} &= \left[2\delta + c \frac{nW^2(L)}{D} \right]; \quad b_{12} = -c \frac{nW(L)}{D}; \\ c_{11} &= \left[\omega^2 + k \frac{nW^2(L)}{D} \right]; \quad c_{12} = -k \frac{nW(L)}{D}; \\ b_{21} &= -cW(L); \quad b_{22} = c; \quad c_{21} = -kW(L); \quad c_{22} = k \end{aligned} \tag{11}$$

Giải hệ (10) bằng phương pháp số, ta nhận được đồ thị dao động của hệ.

5. VÍ DỤ ÁP DỤNG

Trong mục này, xét mô hình tháp cầu có dạng tiết diện dạng chữ nhật rỗng như trên Hình 5.1. Xét dao động theo phương ngang cầu (có độ cứng chống uốn nhỏ hơn). Các thông số của tháp cầu được trình bày trong Bảng 5.1.



Hình 5.1: Mặt cắt ngang của tháp cầu

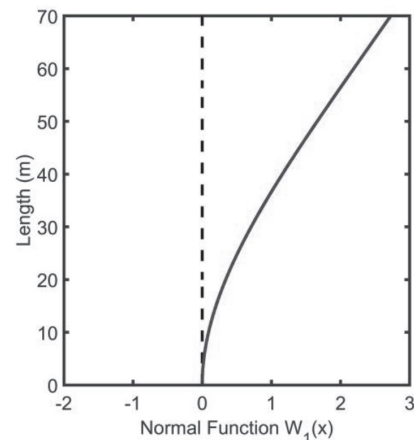
Do trong thực tế, các TLDs được bố trí phía trong lòng tháp, ngoài ra còn cần phải bố trí khoang trống để thực hiện các hoạt động kiểm tra, duy tu, bảo dưỡng nên chọn các TLDs có kích thước $2a = 1,5$ m; $b = 0,5$ m.

Tỉ số tổng khối lượng của các TLDs và khối lượng của tháp chọn là 0,5%.

Bảng 5.1. Các thông số của tháp cầu

Ký hiệu	Trị số	Đơn vị
L	70	m
B_1	5	m
B_2	3	m
b_1	2,6	m
b_2	1,5	m
E	31975.35e6	N/m ²
r	2400	kg/m ³

Tần số dao động riêng cơ bản của tháp cầu khi không lắp TLDs là $\omega_1 = 2,5498$ rad/s. Hàm dáng của tháp cầu tương ứng với tần số cơ bản được thể hiện như trên Hình 5.2.

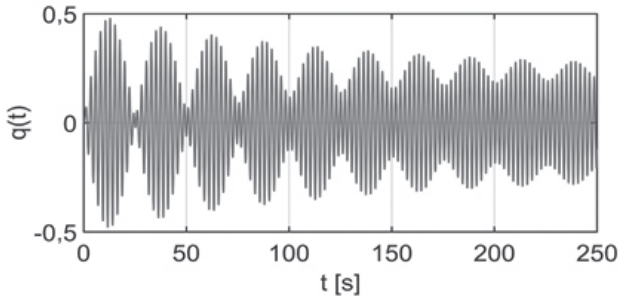


Hình 5.2: Hàm dáng của tháp cầu ứng với tần số cơ bản ω_1

Xét tháp cầu chịu tác dụng của hệ lực phân bố đều có dạng hàm sin.

$$p = p_0 \sin \Omega t$$

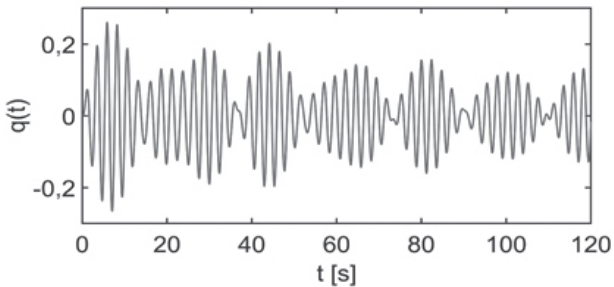
Với $p_0 = 15 \text{ KN/m}$ và tần số cưỡng bức $\Omega = 2,8 \text{ rad/s}$.



Hình 5.3: Đồ thị hàm $q(t)$ khi không lắp TLDs

Chuyển vị lớn nhất tại đỉnh tháp khi không lắp TLDs là 1,308 m.

Với tỉ số khối lượng của TLDs và tháp cầu là 0,005; sử dụng phương pháp thử dần xác định được số lượng khay TLD tối ưu là $N_{opt} = 62$.



Hình 5.4: Đồ thị hàm $q(t)$ khi lắp TLDs với số lượng tối ưu.

Chuyển vị lớn nhất tại đỉnh tháp với số lượng khay TLD tối ưu là 0,708 m, giảm 45,87% so với khi chưa lắp TLDs.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tính toán giảm dao động cho tháp cầu dưới tác dụng của tải trọng động bằng thiết bị giảm chấn chất lỏng TLDs. Một số điểm tiếp cận mới đã được trình bày như sau:

- Tháp cầu được mô hình hóa thành dầm công-xôn, một đầu ngàm, một đầu tự do. Trong quá trình tính toán dao động, tháp vẫn được xem là một dầm Euler-Bernoulli và không quy đổi về hệ 1 bậc tự do.

- Sự tương quan về kích thước hình học của các TLDs và kích thước trong lòng tháp đã được đề cập.

- Để phù hợp với việc bố trí các TLDs trong thực tế, các TLDs trong mô hình nghiên cứu có kích thước và tần số như nhau (đơn tần số).

- Hiệu quả giảm chấn của TLDs đã được tính toán. Tuy nhiên, khác với các nghiên cứu trước, tuy theo tỉ số khối lượng được chọn, biến để tính toán tối ưu chính là số lượng khay chất lỏng được bố trí trong tháp cầu.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo đó là số lượng khay chất lỏng TLDs tối ưu được xác định bằng phương pháp thử dần, có thể xây dựng một thuật toán tối ưu nhằm xác định được giá trị trên. Mặt khác, do trong thực tế, các khay TLDs được bố trí dọc theo tháp, do đó có

thể mô hình hóa một cách chính xác hơn là xét sự phân bố của các TLDs dọc theo tháp cầu tại đỉnh tháp.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Đức Thị Thu Định (2014), *Nghiên cứu ứng dụng hệ giảm chấn chất lỏng trong kiểm soát dao động cho cầu dầm văng tại Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học GTVT.
- [2]. Đinh Tùng Dương, Nguyễn Thế Dũng, Trần Đình Thắng, Trần Đức Hùng, Trần Ngọc An (2024), *Nghiên cứu tính toán dao động tự do của tháp cầu khi lắp thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng Hải, số 77, tháng 01, tr.56-60.
- [3]. Nguyễn Quang Hoàng (2018), *MATLAB và SIMULINK cho kỹ sư*, NXB. Bách Khoa Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Văn Khang (2005), *Dao động kỹ thuật*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [5]. Vũ Đức Phúc (2019), *Điều khiển tối ưu dao động bằng kết hợp nhiều bộ giảm chấn động lực*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [6]. Bùi Phạm Đức Tường (2020), *Ứng dụng bể chứa chất lỏng có thành mỏng trong việc kháng chấn và điều khiển dao động công trình*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.
- [7]. J.R. Banerjee (2012), *Free vibration of beams carrying spring-mass systems - A dynamic stiffness approach*, Computer and Structures, 104-105, pp.21-26.
- [8]. Yozo Fujino, Limin Sun, Benito M. Pacheco and Piyawat Chaiseri (1992), *Tuned liquid damper (TLD) for suppressing horizontal motion of structures*, Journal of Engineering Mechanics, 118 (10), pp.2017-2030.
- [9]. C.A. Rossit and P.A.A. Laura (2001), *Free vibrations of a cantilever beam with a spring-mass system attached to the free end*, Ocean Engineering, 28, pp.933-939.
- [10]. L.M. Sun, Y. Fujino, B.M. Pacheco and P. Chaiseri (1992), *Modelling of tuned liquid damper (TLD)*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 41-44, pp.1883-1894.
- [11]. Singiresu S. Rao (2007), *Vibration of continuous systems*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [12]. Tanmoy Konar and Aparna (Dey) Ghosh (2023), *A review on various configurations of the passive tuned liquid damper*, Journal of Vibration and Control, 29 (9-10), pp.1945-1980.

Ngày nhận bài: 17/4/2024

Ngày nhận bài sửa: 02/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 14/5/2024