

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN KHOA HỌC VÀ CN VIỆT NAM

VIỆN CƠ HỌC

NGUYỄN DUY CHINH

**NGHIÊN CỨU GIẢM DAO ĐỘNG CHO CÔNG TRÌNH
THEO MÔ HÌNH CON LẮC NGƯỢC
CHỊU TÁC DỤNG CỦA NGOẠI LỰC**

Chuyên ngành: Cơ học vật rắn

Mã số : 62-44-21-01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CƠ HỌC

HÀ NỘI – 2010

Công trình được hoàn thành tại: Viện Cơ học – Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS.TS Khổng Doãn Điền – Đại học Thủy lợi**
- 2. TS. Kiều Thế Đức – Đại học Giao thông vận tải**

Phản biện 1: **GS.TSKH Nguyễn Văn Khang - ĐHBK Hà Nội**

Phản biện 2: **GS.TS Hoàng Xuân Lượng - HVKT Quân Sự**

Phản biện 3: **PGS.TS Đinh Văn Phong - ĐHBK Hà Nội**

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện họp tại Hội trường 413 nhà C, Viện Cơ học, 264 Đội Cấn, Ba Đình, Hà Nội. Vào hồi 9 giờ 00 ngày 29 tháng 11 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại: Thư viện Quốc gia
Thư viện Viện Cơ học

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

[1] Nguyễn Đông Anh, Khổng Doãn Điền, Nguyễn Duy Chinh, *Nghiên cứu dao động của hệ con lắc ngược có lắp đặt hệ thống giảm dao động TMD và DVA*, Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ 8, Hà Nội ngày 6–7/12/2007. Tập 1: Động lực học và Điều khiển, tr 53 – 62.

[2] Khổng Doãn Điền, Nguyễn Duy Chinh, *Nghiên cứu dao động của hệ con lắc ngược có lắp đặt hệ thống giảm dao động TMD*, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng số 4/2007, tr 17– 23.

[3] Nguyễn Duy Chinh, *Nghiên cứu và áp dụng các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động TMD-N đối với hệ con lắc ngược vào việc giảm dao động cho tháp nước*, Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng số 2/2008, tr 12- 20.

[4] Khổng Doãn Điền, Nguyễn Duy Chinh, *Nghiên cứu tìm các thông số tối ưu của hệ thống giảm dao động TMD đối với hệ con lắc ngược và áp dụng kết quả nghiên cứu giảm dao động cho tháp khớp nối đại dương*, Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị Cơ học toàn quốc Kỷ niệm 30 năm Viện Cơ học và 30 năm Tạp chí Cơ học, Hà nội ngày 8–9/4/2009. Tập 2: Cơ học máy; Động lực học và điều khiển, tr 249 – 261.

[5] Khổng Doãn Điền, Nguyễn Duy Chinh, *Tính toán xác định các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động TMD-D đối với hệ con lắc ngược và áp dụng kết quả nghiên cứu giảm dao động cho cầu giao thông*, Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị Cơ học toàn quốc Kỷ niệm 30 năm Viện Cơ học và 30 năm Tạp chí Cơ học, Hà nội ngày 8-9/4/2009. Tập 2: Cơ học máy; Động lực học và điều khiển, tr 262 – 271.

[6] Khong Doan Dien, Nguyen Duy Chinh, *Optimal parameters of vibration reduction system TMD-D and DVA for an inverted pendulum type structure*, Vietnam Journal of Mechanics, VAST, Vol. 32, No 1 (2010), pp. 59 – 69.

MỞ ĐẦU

1. Cơ sở khoa học và thực tiễn của đề tài

Trong thực tế có nhiều công trình có mô hình ở dạng con lắc ngược như nhà cao tầng, tháp vô tuyến, giàn khoan, công trình biển ... cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật các công trình này ngày càng lớn về chiều dài và chiều cao. Sự gia tăng về quy mô kết cấu sẽ dẫn đến các đáp ứng động lực phức tạp của kết cấu và sẽ sinh ra các dao động có hại. Vì vậy, nghiên cứu giảm dao động có hại cho cơ cấu con lắc ngược là bài toán đang được rất nhiều các nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu.

Một hướng nghiên cứu mang tính thời sự, cấp thiết và quan trọng ở Việt Nam hiện nay là nghiên cứu để giảm dao động cho các công trình biển có dạng con lắc ngược DKI. Các công trình này đã và đang góp phần vào xây dựng, bảo vệ đất nước và khai thác tiềm năng vô cùng to lớn của biển. Qua nghiên cứu của [Nguyễn Hoa Thịnh và cộng sự (vcs) (2004, 2005)], [Nguyễn Đông Anh vcs (2007)] cho thấy đáp ứng gây ra dao động có hại cho công trình DKI bao gồm hai loại chính là đáp ứng ngang và thẳng đứng liên quan đến hiện tượng lắc ngang và nhỏ cọc. Dao động của công trình DKI bao gồm hai loại dao động: Dao động rung lắc có tần số là các tần số riêng của công trình và dao động cưỡng bức gây ra bởi tải trọng sóng, trong đó dao động rung lắc đặc biệt có hại với độ bền và tuổi thọ của công trình. Các dao động rung lắc có tần số cao hơn nhiều lần tần số của sóng biển là một trong các dao động có hại không mong muốn cần được hạn chế. Để giảm dao động rung lắc cho công trình DKI theo đề xuất của các nhà khoa học Nguyễn Hoa Thịnh vcs (2005, 2006), Nguyễn Đông Anh vcs (2007) có thể lắp vào công trình DKI hai bộ TMD để tiêu tán năng lượng cho hệ. Một bộ TMD được đặt theo hướng tác động của sóng biển để giảm dao động lắc ngang. Một bộ TMD khác được đặt theo hướng thẳng đứng để giảm dao động thẳng đứng và chống nhỏ cọc.

Các công trình DKI có vị trí chiến lược quan trọng trong sự phát triển, khai thác tiềm năng biển, tăng cường khả năng quốc phòng, góp phần vào ổn định chính trị của đất nước. Việc tiếp tục nghiên cứu áp dụng các bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho các công trình DKI nhằm nâng cao chất lượng và tuổi thọ của các công trình DKI là vấn đề đã và đang được Bộ Quốc phòng và các nhà khoa học trong nước đang quan tâm nghiên cứu.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Mục đích của luận án là nghiên cứu giảm dao động rung lắc cho các công trình có dạng con lắc ngược.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Trong các tài liệu [Nguyễn Đông Anh vcs (2004, 2005); Khổng Doãn Điền vcs (2005); Nguyễn Đông Anh vcs (2007)] đã nghiên cứu dao động của con lắc ngược có lắp bộ hấp thụ dao động. Tuy nhiên các nghiên cứu đó mới chỉ xét đến dao động lắc ngang của con lắc ngược. Nhưng trong thực tế nhiều công trình có dạng con lắc ngược, ngoài thành phần dao động lắc ngang nó còn dao động theo phương thẳng đứng. Vì vậy đối tượng nghiên cứu của luận án là các bộ hấp thụ dao động thụ động TMD cho các công trình dạng con lắc ngược có xét đến cả dao động thẳng đứng và lắc ngang.

Để xác định các thông số tối ưu của hệ thống giảm dao động TMD, ta có nhiều phương pháp khác nhau như: Phương pháp điểm cố định, phương pháp cực tiểu mô men bậc hai, phương pháp cực tiểu sai số bình phương, ... và ứng với mỗi phương pháp khác nhau ta lại tìm được các thông số tối ưu khác nhau của các bộ hấp thụ dao động. Việc áp dụng phương pháp nào để tìm các thông số tối ưu, hoàn toàn phụ thuộc vào đáp ứng dao động của kết cấu mà yêu cầu của thực tiễn kỹ thuật cần giảm dao động. Trong luận án này, tác giả tìm các thông số tối ưu của các bộ hấp thụ dao động TMD với mục đích là giảm dao động rung lắc của các công trình có dạng con lắc ngược nên phạm vi nghiên cứu của luận án là tính toán các thông số tối ưu của các bộ hấp thụ dao động TMD để tăng các đặc trưng cản lớn nhất của hệ.

4. Phương pháp nghiên cứu

Trên cơ sở các công trình có dạng con lắc ngược có trong thực tế, tác giả chuyển về mô hình lý thuyết của cơ cấu con lắc ngược có lắp hệ thống giảm dao động TMD. Từ mô hình tính toán của hệ con lắc ngược có lắp đặt hệ thống giảm dao động, tác giả sử dụng phương trình Lagrăng loại II để thiết lập phương trình vi phân chuyển động của hệ. Trên cơ sở phương trình chuyển động của con lắc ngược thu được, tác giả tiến hành nghiên cứu, phân tích, tính toán để giảm dao động cho cơ cấu con lắc ngược theo lý thuyết điều khiển chuyển động, tìm nghiệm giải tích của hệ. Với mục tiêu là nghiên cứu, tính toán bộ hấp thụ dao động tối ưu để giảm thành phần dao động rung lắc cho cơ hệ, tác giả đã áp dụng phương pháp cân bằng cực theo các tài liệu [Korenev vcs (1993), Muller vcs (1997), Matsuhisa vcs (2001), N. D. Anh vcs (2007)] đây là phương pháp tìm các thông số tối ưu của các bộ TMD để tăng các đặc trưng cản lớn nhất cho cơ hệ, từ đó giảm được thành phần dao động rung lắc cho hệ một cách tốt nhất. Để kiểm chứng tính đúng đắn của các kết quả nghiên cứu, tác giả đã so sánh các kết quả thu được trong trường hợp đơn giản hơn của luận án với kết quả đã được công bố của các nhà khoa học đã nghiên cứu và đưa ra kết quả trước đây. Để đánh giá hiệu quả giảm dao động của các kết quả

nghiên cứu của luận án, do điều kiện về thời gian và kinh phí, không thể nghiên cứu thực nghiệm vào các công trình có trong thực tế, nên luận án xây dựng chương trình máy tính trên phần mềm MAPLE để mô phỏng chuyển động của cả hệ để người đọc có cái nhìn trực quan về hiệu quả của bộ hấp thụ dao động. Đây là phần mềm được các nhà khoa học trên thế giới chuyên dùng và cho kết quả tin cậy.

5. Những đóng góp mới của luận án

a. Thiết lập được phương trình vi phân chuyển động của hệ con lắc ngược có lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N để giảm dao động theo phương thẳng đứng và lắc ngang của hệ con lắc ngược.

b. Tính toán tìm được các thông số của các bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N để công trình có dạng con lắc ngược làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

c. Nghiên cứu phân tích, tính toán tìm được các tham số tối ưu của các bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N để giảm dao động rung lắc theo phương thẳng đứng và ngang của hệ con lắc ngược.

d. Mở rộng các kết quả nghiên cứu trường hợp có lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N cho trường hợp có lắp đặt hệ thống giảm dao động TMD-D và DVA. Đã tìm được các tham số tối ưu của hệ thống giảm dao động TMD-D và DVA để giảm dao động rung lắc cho hệ con lắc ngược.

e. Đã áp dụng các kết quả nghiên cứu, tính toán các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho tháp nước, dao động thẳng đứng của ô tô, tháp ngoài biển, thì thấy biên độ dao động của các cơ cấu này giảm rất nhiều theo thời gian so với trường hợp không lắp đặt bộ hấp thụ dao động. Điều này đáp ứng được yêu cầu giảm dao động của kỹ thuật đặt ra. Các nghiên cứu lý thuyết này đã được tác giả kiểm chứng trên những ví dụ cụ thể bằng phần mềm chuyên dụng MAPLE và cho kết quả tin cậy. Sự đúng đắn của kết quả nghiên cứu còn được kiểm chứng khi so sánh các kết quả thu được trong trường hợp đơn giản hơn với kết quả đã được công bố của các nhà khoa học đã nghiên cứu và đưa ra kết quả trước đây.

6. Bố cục của luận án

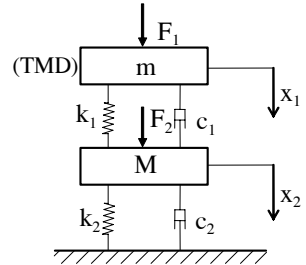
Luận án gồm phần mở đầu, bốn chương và phần kết luận với 150 trang, 34 hình vẽ và đồ thị. Chương 1 trình bày tổng quan các nghiên cứu về bộ hấp thụ dao động thụ động. Chương 2, 3 giải quyết bài toán tính giảm dao động cho cơ cấu có dạng con lắc ngược có lắp các bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N. Chương 4 mở rộng kết quả nghiên cứu trường hợp có lắp đồng thời hai bộ TMD-D và DVA. Tính toán mô phỏng số các các kết quả nghiên cứu giảm dao động cho một số kết cấu công trình. Các kết quả chính của luận án được tóm tắt trong phần kết luận. Phần phụ lục là chương trình máy tính, xây dựng trong phần mềm MAPLE để phục vụ cho việc nghiên cứu của luận án.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ BỘ HẤP THỤ DAO ĐỘNG THỤ ĐỘNG

Giới thiệu chung về bộ hấp thụ dao động thụ động

Trong phương pháp hấp thụ thụ động, bộ hấp thụ dao động thụ động được gắn thêm vào hệ máy hay kết cấu. Mục đích của việc sử dụng bộ hấp thụ dao động thụ động là để hấp thụ một phần năng lượng của hệ chính. Ưu điểm của phương pháp là không cần năng lượng sinh ra bởi bộ tạo nguồn lực nên đơn giản cho công tác duy tu, bảo dưỡng. Sự hấp thụ được thực hiện bằng cách truyền một phần năng lượng dao động có hại từ hệ chính tới bộ hấp thụ dao động thụ động. Bộ hấp thụ dao động thụ động dạng khối lượng gọi tắt là TMD (tuned mass damper) có thể mô tả như là một khối lượng được gắn với hệ chính thông qua lò xo và giảm chấn dạng cản nhớt. Sơ đồ kết nối giữa bộ hấp thụ dao động thụ động và hệ dao động chính được biểu diễn trên hình 1.1.



Hình 1.1

Việc ứng dụng bộ hấp thụ dao động thụ động được nghiên cứu lần đầu tiên bởi Frahm vào năm 1909. Trong đó bộ hấp thụ dao động thụ động có khối lượng m và lò xo với độ cứng k_1 . Hệ chính là vật M được gắn với nền bằng lò xo có độ cứng k_2 . Khi cả hai hệ đều không chứa lực cản, dưới tác dụng của kích động điều hòa, hệ dao động chính M có thể đứng yên không chuyển động nếu tần số riêng của bộ hấp thụ dao động thụ động, $\omega_a = \sqrt{\frac{k_1}{m}}$, được chọn

bằng tần số của lực kích động. Lý thuyết về bộ hấp thụ dao động thụ động có cản nhớt được Den Hartog (1947) phát triển cho các trường hợp hệ chính có cản nhớt. Ông đã đưa ra phương pháp tính toán thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động thụ động. Sau đó, việc nghiên cứu bộ hấp thụ dao động thụ động cho các hệ chính có cản nhớt được tiếp tục bởi Bishop và Welbourn (1952). Vì hệ kết cấu thường có nhiều bậc tự do nên lời giải giải tích cho hệ một bậc tự do chỉ là lời giải gần đúng khi áp dụng cho hệ nhiều bậc tự do. Các nghiên cứu về TMD cho hệ nhiều bậc tự do chịu kích động ngẫu nhiên đã được nghiên cứu bởi Nguyễn Đông Anh vcs (2004).

Mặc dù các nghiên cứu về hệ dao động chịu kích động của ngoại lực đã được nghiên cứu nhiều và có một số lời giải, nhưng các chuyển động trong thực tế là rất đa dạng và phức tạp, mỗi loại chuyển động lại có những đặc thù riêng, để các bộ hấp thụ dao động làm việc có hiệu quả và có thể áp dụng

vào các cơ cấu trong thực tế, ta cần nghiên cứu thiết kế các bộ hấp thụ dao động đối với cơ cấu có chuyển động đặc thù để đáp ứng yêu cầu của thực tiễn kỹ thuật. Một trong các cơ cấu có chuyển động đặc thù đó là mô hình có dạng con lắc ngược.

Bộ hấp thụ dao động cho hệ con lắc ngược

Hệ con lắc ngược, trong nhiều trường hợp có thể được sử dụng để mô tả kết cấu công trình. Các nghiên cứu để giảm dao động cho cơ cấu có dạng con lắc ngược đã được nghiên cứu trong các tài liệu [Nguyễn Đông Anh vcs (2004, 2005); Khổng Doãn Điền vcs (2005); Nguyễn Đông Anh vcs (2007)]. Trong các nghiên cứu này, các tác giả mới chỉ tính đến giảm dao động lắc ngang của con lắc ngược. Trong thực tế, các công trình có dạng con lắc ngược ngoài thành phần dao động lắc ngang nó còn dao động thẳng đứng. Một trong các công trình có cả dao động lắc ngang và dao động thẳng đứng đó là công trình biển.

Một hướng nghiên cứu mang tính thời sự, cấp thiết và quan trọng ở Việt Nam hiện nay là nghiên cứu để giảm dao động cho các công trình biển có dạng con lắc ngược **DKI**. Các công trình này đã và đang góp phần vào xây dựng, bảo vệ đất nước và khai thác tiềm năng vô cùng to lớn của biển. Qua nghiên cứu cho thấy đáp ứng gây ra dao động có hại cho công trình **DKI** bao gồm hai loại chính là đáp ứng ngang và thẳng đứng liên quan đến hiện tượng lắc ngang và nhỏ cọc. Dao động của công trình **DKI** bao gồm hai loại dao động: Dao động rung lắc có tần số là các tần số riêng của công trình và dao động cưỡng bức gây ra bởi tải trọng sóng, trong đó dao động rung lắc đặc biệt có hại với độ bền và tuổi thọ của công trình. Các dao động rung lắc có tần số cao hơn nhiều lần tần số của sóng biển là một trong các dao động có hại không mong muốn cần được hạn chế. Để giảm dao động rung lắc cho công trình **DKI** theo đề xuất của các nhà khoa học Nguyễn Hoa Thịnh vcs (2005, 2006), Nguyễn Đông Anh vcs (2007) có thể lắp vào công trình **DKI** hai bộ TMD để tiêu tán năng lượng cho hệ. Một bộ TMD được đặt theo hướng tác động của sóng biển để giảm dao động lắc ngang. Một bộ TMD khác được đặt theo hướng thẳng đứng để giảm dao động thẳng đứng và chống nhỏ cọc.

Các công trình **DKI** có vị trí chiến lược quan trọng trong sự phát triển, khai thác tiềm năng biển, tăng cường khả năng quốc phòng, góp phần vào ổn định chính trị của đất nước. Việc tiếp tục nghiên cứu áp dụng các bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho các công trình **DKI** nhằm nâng cao chất lượng và tuổi thọ của các công trình **DKI** là vấn đề đã và đang được Bộ Quốc phòng và các nhà khoa học trong nước đang quan tâm nghiên cứu.

CHƯƠNG 2

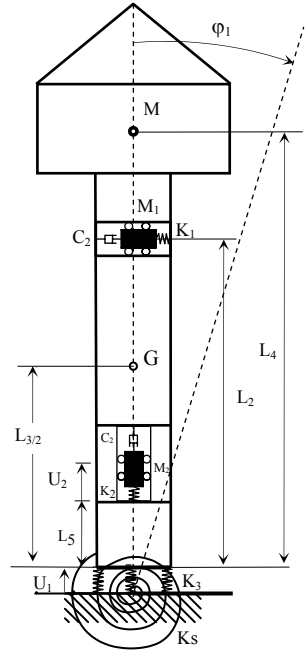
PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ CON LẮC NGƯỢC

2.1 Mô hình tính toán của cơ cấu con lắc ngược, có gắn bộ hấp thụ dao động được nghiên cứu trong luận án

Hình (2.1) biểu diễn sơ đồ của con lắc ngược có khối lượng M , cách nền ngang một khoảng L_4 , thanh đỡ con lắc ngược có khối lượng m , chiều dài L_3 , trọng tâm đặt tại G , liên kết giữa con lắc ngược và nền ngang cố định được thay bằng hai lò xo - lò xo xoắn có độ cứng k_s , và lò xo có độ cứng k_3 .

Để giảm dao động cho cơ cấu, ta lắp vào hệ hai bộ hấp thụ dao động TMD. Bộ hấp thụ dao động TMD-N để giảm dao động lắc ngang, bộ hấp thụ dao động TMD-D để giảm dao động theo phương thẳng đứng của con lắc ngược.

Bộ hấp thụ dao động TMD-N được lắp tại vị trí cách nền ngang một khoảng L_2 , có khối lượng M_1 , liên kết với con lắc ngược bởi một lò xo có độ cứng k_1 và một bộ cản nhớt tuyến tính có hệ số c_1 . Bộ hấp thụ dao động TMD-D được lắp tại vị trí cách nền ngang một khoảng L_5 gồm một vật có khối lượng M_2 , liên kết với con lắc ngược bởi một lò xo có độ cứng k_2 và một bộ cản nhớt tuyến tính có hệ số c_2 .



Hình 2.1

2.2 Thiết lập phương trình vi phân chuyển động của hệ con lắc ngược

Cơ hệ có 4 bậc tự do ta chọn φ_1 , U_0 , U_1 , U_2 là tọa độ suy rộng của cơ hệ, trong đó: φ_1 : Là dịch chuyển góc quay của con lắc ngược; U_0 : Dịch chuyển của bộ TMD-N; U_1 : Dịch chuyển của con lắc ngược theo phương thẳng đứng; U_2 : Dịch chuyển của bộ TMD-D;

Ta có phương trình Lagrăng II cho cơ hệ:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = Q_{\varphi_1}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}_0} \right) - \frac{\partial T}{\partial u_0} = Q_{u_0} \quad (2.1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial u_1} = Q_{u_1}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial u_2} = Q_{u_2}$$

trong đó:

Q_{φ_1} : Lực suy rộng theo tọa độ φ_1 ; Q_{U_0} : Lực suy rộng theo tọa độ U_0 ; Q_{U_1} : Lực suy rộng theo tọa độ U_1 ; Q_{U_2} : Lực suy rộng theo tọa độ U_2 ; T : Động năng của cơ hệ.

2.2.1 Động năng của cơ hệ

Động năng của cơ hệ bằng tổng động năng các phần tử của cơ hệ

$$T = \frac{1}{2}M \left[\dot{U}_1^2 + (U_1 + L_4)^2 \dot{\varphi}_1^2 \right] + \frac{1}{2}m \left[\dot{U}_1^2 + \left(U_1 + \frac{L_3}{2} \right)^2 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{12}L_3^2 \dot{\varphi}_1^2 \right] + \frac{1}{2}M_1 \left[\left(\dot{U}_1 - U_0 \dot{\varphi}_1 \right)^2 + \left((U_1 + L_2) \dot{\varphi}_1 + \dot{U}_0 \right)^2 \right] + \frac{1}{2}M_2 \left[\left(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 \right)^2 + \left(U_1 + L_5 + U_2 \right)^2 \dot{\varphi}_1^2 \right] \quad (2.2)$$

2.2.2 Lực suy rộng của cơ hệ

Lực suy rộng của cơ hệ được xác định theo công thức sau:

$$Q_{\varphi_1} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_1} + Q_{\varphi_1}^*; \quad Q_{u_0} = -\frac{\partial \Pi}{\partial u_0} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{u}_0} + Q_{u_0}^* \quad (2.3)$$

$$Q_{u_1} = -\frac{\partial \Pi}{\partial u_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{u}_1} + Q_{u_1}^*; \quad Q_{u_2} = -\frac{\partial \Pi}{\partial u_2} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{u}_2} + Q_{u_2}^*$$

trong đó:

Π : Thế năng của hệ; Φ : Hàm hao tán của hệ; $Q_{U_0}^*$: Lực hoạt suy rộng theo toạ độ U_0 ; $Q_{U_1}^*$: Lực hoạt suy rộng theo toạ độ U_1 ; $Q_{U_2}^*$: Lực hoạt suy rộng theo toạ độ U_2 ; $Q_{\varphi_1}^*$: Lực hoạt suy rộng theo toạ độ U_1

2.2.2.1 Thế năng của cơ hệ

Thế năng của cơ hệ bằng tổng thế năng của trọng lực và thế năng của lò xo

$$\Pi = \left(Mg(U_1 + L_4) + mg(U_1 + \frac{L_3}{2}) + M_2g(U_1 + L_5 + U_2) + M_1g(U_1 + L_2) \right) \cos \varphi_1 - M_1g u_0 \sin \varphi_1 + \frac{1}{2}K_1[U_0 - U_{00}]^2 + \frac{1}{2}K_2(U_2 - U_{20})^2 + \frac{1}{2}K_3(U_1 - U_{10})^2 + \frac{1}{2}K_s(\varphi_1 - \varphi_{10})^2 \quad (2.4)$$

2.2.2.2 Hàm hao tán

Năng lượng dao động có hại của con lắc ngược bị tiêu tán bởi các bộ cản nhớt được lắp vào hai bộ hấp thụ dao động:

$$\Phi = \frac{1}{2}C_1 \dot{U}_0^2 + \frac{1}{2}C_2 \dot{U}_2^2 \quad (2.5)$$

2.2.2.3 Lực hoạt suy rộng

Lực hoạt suy rộng đặc trưng cho lực bên ngoài tác dụng lên hệ con lắc ngược, một cách tổng quát giả sử có hai ngoại lực quy đổi tác dụng lên con lắc ngược là: Lực \vec{P} tác dụng lên con lắc ngược gây ra dao động thẳng đứng phụ thuộc vào thời gian: $\vec{P} = \vec{P}(t)$; Lực \vec{Q} tác dụng lên con lắc ngược tại vị trí cách trục quay một khoảng L gây ra dao động lắc ngang của con lắc ngược phụ thuộc vào thời gian: $\vec{Q} = \vec{Q}(t)$

$$Q_{u_1}^* = LQ(t); \quad Q_{u_0}^* = 0; \quad Q_{u_1}^* = P(t); \quad Q_{u_2}^* = 0 \quad (2.6)$$

Thay (2.4), (2.5) và (2.6) vào (2.3) ta có lực suy rộng của cơ hệ như sau :

$$Q_{\varphi_1} = [Mg(U_1 + L_4) + mg(U_1 + \frac{L_3}{2}) + M_1g(U_1 + L_2) + M_2g(U_1 + L_5 + U_2)] \sin \varphi_1 + M_1g u_0 \cos \varphi_1 - K_s(\varphi_1 - \varphi_{10}) + LQ(t)$$

$$Q_{U_0} = -K_1[u_0 - u_{00}] + M_1g \sin \varphi_1 - C_1 \dot{U}_0 \quad (2.7)$$

$$Q_{U_1} = -(Mg + mg + M_1g + M_2g) \cos \varphi_1 - K_3(U_1 - U_{10}) + P(t)$$

$$Q_{U_2} = -M_2g \cos \varphi_1 - K_2(U_2 - U_{20}) - C_2 \dot{U}_2$$

Xét hệ tại vị trí cân bằng tĩnh (hình 2.2) ta có:

$$\varphi_1 = \varphi_{10} = 0; \quad U_1 = U_{10}; \quad U_2 = U_{20}; \quad U_0 = U_{00} = 0; \quad (2.8)$$

Xét cân bằng cả hệ, ta có: $F_{lx3} = P_M + P_m + P_{M1} + P_{M2}$

$$\Rightarrow K_3 U_{10} = Mg + mg + M_1g + M_2g \quad (2.9)$$

Xét cân bằng bộ TMD-D, ta có: $F_{lx2} = P_{M2}$

$$\Rightarrow K_2 U_{20} = M_2g \quad (2.10)$$

Vì dao động nhỏ, ta có: $\sin \varphi_1 \approx \varphi_1; \cos \varphi_1 \approx 1;$

Thay (2.2, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10) vào (2.1), ta có phương trình vi phân chuyển động của hệ dao động quanh vị trí cân bằng tĩnh dạng tuyến tính sau:

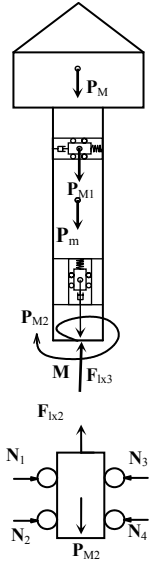
$$\mathbf{M}_H \ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}_H \dot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}_H \mathbf{X} = \mathbf{F}_H(t) \quad (2.11)$$

trong đó:

$$\mathbf{M}_H = \begin{bmatrix} \left(ML_4^2 + M_2L_5^2 + \frac{mL_3^2}{3} + M_1L_2^2 \right) & M_1L_2 & 0 & 0 \\ M_1L_2 & M_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (M + M_1 + M_2 + m) & M_2 \\ 0 & 0 & M_2 & M_2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$\mathbf{K}_H = \begin{bmatrix} \left(K_s - MgL_4 - \frac{mgL_3}{2} - M_1gL_2 - M_2gL_5 \right) & -M_1g & 0 & 0 \\ -M_1g & K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$\mathbf{C}_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}; \quad \dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{U}_0 \\ \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \ddot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{U}_0 \\ \ddot{U}_1 \\ \ddot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{F}_T = \begin{bmatrix} LQ(t) \\ 0 \\ P(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$



Hình 2.2

CHƯƠNG 3

NGHIÊN CỨU, PHÂN TÍCH, TÍNH TOÁN GIẢM DAO ĐỘNG CHO CÁC CÔNG TRÌNH CÓ DẠNG HỆ CON LẮC NGƯỢC

3.1 Trường hợp chỉ có bộ hấp thụ dao động TMD-D

Trong trường hợp này, ta có: $M_1 = 0$, $C_1 = 0$; $K_1 = 0$ (3.1)

3.1.1 Nghiên cứu ổn định chuyển động của hệ con lắc ngược theo tiêu chuẩn kỹ thuật trường hợp chỉ lắp bộ TMD-D

Ta đưa vào các tham số sau:

$$u = L_4\varphi_1, \mu_{\varphi D} = \frac{M_2}{M+m/3}, \mu_{uD} = \frac{M_2}{M+m}, \gamma_D = \frac{L_5}{L_4}, \omega_{uD} = \sqrt{\frac{K_3}{M+m}}, L_3 = L_4$$

$$\omega_{\varphi D} = \sqrt{\frac{K_s}{ML_3^2 + mL_4^2/3} - \frac{(6M+3m)g}{6ML_4 + 2mL_4}} = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M+3m)}{2L_4^2(3M+m)}} \quad (3.2)$$

$$\omega_{dD} = \sqrt{\frac{k_2}{M_2}}, \xi_D = \frac{c_2}{2M_2\omega_{dD}}, \alpha_{dD} = \frac{\omega_{dD}}{\omega_{\varphi D}}, \alpha_{uD} = \frac{\omega_{uD}}{\omega_{\varphi D}}, \eta_D = \frac{g}{\omega_{\varphi D}^2 L_4}$$

Thay các tham số từ (3.1, 3.2) vào các ma trận (2.12 ÷ 2.14) ta có:

$$\mathbf{M}_{P^*} = \begin{bmatrix} 1 + \mu_{\varphi D}\gamma_D^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \mu_{uD} & \mu_{uD} \\ 0 & \mu_{uD} & \mu_{uD} \end{bmatrix}; \mathbf{C}_{P^*} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\xi_D\alpha_{dD}\mu_{uD}\omega_{\varphi D} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{K}_{P^*} = \begin{bmatrix} (1 - \mu_{\varphi D}\gamma_D\eta_D)\omega_{\varphi D}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{uD}^2\omega_{\varphi D}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{uD}\alpha_{dD}^2\omega_{\varphi D}^2 \end{bmatrix}; \mathbf{F}_{P^*}(t) = \begin{bmatrix} \frac{3Q(t)}{3M+m} \\ \frac{P(t)}{M+m} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Kết hợp tiêu chuẩn ổn định theo phương trình ma trận Liapunov và (3.3, 3.4) ta có điều kiện ổn định của hệ con lắc ngược như sau:

$$1 - \mu_{\varphi D}\gamma_D\eta_D > 0 \quad (3.5)$$

Khi thiết kế các bộ hấp thụ dao động TMD-D ta phải chọn các thông số thỏa mãn hệ thức (3.5) để công trình làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

3.1.3 Tính toán các thông số của bộ hấp thụ dao động TMD-D để giảm dao động cho cơ cấu con lắc ngược

Đa thức đặc trưng $p(\lambda)$ được xác định như sau:

$$P(\lambda) \equiv \frac{1}{\det[\mathbf{M}_{TMD-D}]} \det[\mathbf{M}_{TMD-D}\lambda^2 + \mathbf{C}_{TMD-D}\lambda + \mathbf{K}_{TMD-D}] \quad (3.6)$$

Thay (3.3 – 3.4) vào (3.6) ta có $p(\lambda)$ là:

$$P(\lambda) = \left\{ \frac{(1 + \mu_{\varphi D} \gamma_D^2) \lambda^2 + (1 - \mu_{\varphi D} \gamma_D \eta_D) \omega_{\varphi D}^2}{(1 + \mu_{\varphi D} \gamma_D^2)} \right\} (\lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4) = p_1(\lambda) \cdot p_2(\lambda) \quad (3.7)$$

trong đó

$$p_1(\lambda) = \left\{ \frac{(1 + \mu_{\varphi D} \gamma_D^2) \lambda^2 + (1 - \mu_{\varphi D} \gamma_D \eta_D) \omega_{\varphi D}^2}{(1 + \mu_{\varphi D} \gamma_D^2)} \right\}; p_2(\lambda) = (\lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4) \quad (3.8)$$

$$a_1 = 2\xi_D \alpha_{dD} \omega_{\varphi D} (1 + \mu_{dD}), a_2 = [(1 + \mu_{dD}) \alpha_{dD}^2 + \alpha_{dD}^2] \omega_{\varphi D}^2, a_3 = 2\xi_D \alpha_{dD} \alpha_{dD}^2 \omega_{\varphi D}^3, a_4 = \alpha_{dD}^2 \alpha_{dD}^2 \omega_{\varphi D}^4$$

Các nghiệm của $P(\lambda)$ gọi là các cực của hệ. Mục tiêu của việc nghiên cứu là tìm các thông số tối ưu α_{dD}, ξ_D của bộ TMD-D sao cho cực của $P(\lambda)$ có

$$|\operatorname{Re}(\lambda_i)| \Rightarrow \max_{\alpha_{dD}}, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (3.9)$$

$$|\operatorname{Im}(\lambda_i)| \Rightarrow \min_{\xi_D}, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (3.10)$$

Sau khi tìm được α_{dD}, ξ_D tối ưu, các thông số khác của bộ hấp thụ dao động μ_{dD}, γ_D được chọn để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất, nghĩa là

$$D_i = - \left\{ \frac{\operatorname{Re} \lambda_i}{|\lambda_i|} \right\} \Rightarrow \max_{\mu_{dD}, \gamma_D}, \quad i = 1 \div 6 \quad (3.11)$$

$P(\lambda)$ có cực là tổ hợp cực của hai đa thức $p_1(\lambda)$ và $p_2(\lambda)$. Từ (3.2) và (3.8) ta nhận thấy đa thức $p_1(\lambda)$ chỉ chứa các thông số của dao động lắc ngang, vậy $p_1(\lambda)$ đặc trưng cho chuyển động lắc ngang của con lắc ngược. Kết hợp điều kiện ổn định (3.5), nếu hệ làm việc ổn định thì cực của đa thức này là:

$$\lambda_{1,2} = \pm i \sqrt{\frac{(1 - \mu_{\varphi D} \gamma_D \eta_D) \omega_{\varphi D}^2}{(1 + \mu_{\varphi D} \gamma_D^2)}} \quad (3.12)$$

Cực của đa thức $p_1(\lambda)$ trong (3.12) chỉ có phần ảo, không có phần thực, mà phần ảo thể hiện số lần dao động thực hiện. Vậy để số lần dao động quay thực hiện là nhỏ, từ (3.12) ta nên tăng khối lượng và tăng độ cao vị trí lắp đặt bộ hấp thụ dao động và thỏa mãn điều kiện ổn định (3.5).

Đa thức $p_2(\lambda)$ trong (3.8) phụ thuộc vào tất cả các tham số của bộ hấp thụ dao động và các thông số đặc trưng cho chuyển động thẳng đứng của con lắc ngược. Vậy đa thức $p_2(\lambda)$ đặc trưng cho dao động thẳng đứng. Sau khi phân tích, tính toán để các cực $p_2(\lambda)$ có độ lớn của phần thực càng lớn càng tốt và độ lớn của các phần ảo càng nhỏ càng tốt ta thu được hai tham số tối ưu sau:

$$\alpha_{optD} = \frac{\alpha_{ud}}{(1 + \mu_{ud})}; \xi_{optD} = \sqrt{\frac{\mu_{ud}}{(1 + \mu_{ud})}} \quad (3.13)$$

Bước cuối cùng ta tìm các thông số khác của bộ hấp thụ dao động được tìm để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất, trong trường hợp này chỉ có dao động thẳng đứng là chưa phân thực nên tỉ số tắt dần chỉ tính cho trường hợp này, sau khi tính toán, ta có:

$$D_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\mu_{ud}} \quad (3.14)$$

Sau khi phân tích để D_0 đạt giá trị lớn nhất và thỏa mãn điều kiện ổn định, ta có

$$\mu_{optD} = \mu_{max} < \frac{1}{\gamma_D \eta_D} \quad (3.15)$$

3.2 Trường hợp chỉ lắp đặt bộ hấp thụ dao động TMD-N

Trong trường hợp này, ta có: $M_2 = 0, C_2 = 0; K_2 = 0$ (3.16)

3.2.1 Nghiên cứu ổn định chuyển động của hệ con lắc ngược theo tiêu chuẩn kỹ thuật khi lắp bộ hấp thụ dao động TMD-N

Ta đưa vào các tham số sau:

$$u = L_4 \varphi_1, L_3 = L_4, \mu_{uN} = \frac{M_1}{M+m}, \mu_{\varphi N} = \frac{M_1}{M+m/3}, \gamma_N = \frac{L_2}{L_4}, \omega_{uN} = \sqrt{\frac{K_3}{M+m}}$$

$$\omega_{\varphi N} = \sqrt{\frac{K_s}{ML_3^2 + mL_4^2/3} - \frac{(6M+3m)g}{6ML_4 + 2mL_4}} = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M+3m)}{2L_4^2(3M+m)}} \quad (3.17)$$

$$\omega_{dN} = \sqrt{\frac{k_1}{M_1}}, \xi_N = \frac{c_1}{2M_1\omega_{dN}}, \alpha_{dN} = \frac{\omega_{dN}}{\omega_{\varphi N}}, \alpha_{uN} = \frac{\omega_{uN}}{\omega_{\varphi N}}, \eta_N = \frac{g}{\omega_{\varphi N}^2 L_4}$$

Thay các tham số từ (3.16, 3.17) vào (2.12 ÷ 2.14) ta có:

$$\mathbf{M}_T = \begin{bmatrix} 1 + \mu_{\varphi N} \gamma_N^2 & \mu_{\varphi N} \gamma_N & 0 \\ \mu_{\varphi N} \gamma_N & \mu_{\varphi N} & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \mu_{uN} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C}_T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2\xi_N \alpha_{dN} \mu_{\varphi N} \omega_{\varphi N} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$\mathbf{K}_T = \begin{bmatrix} (1 - \mu_{\varphi N} \gamma_N \eta_N) \omega_{\varphi N}^2 & -\mu_{\varphi N} \eta_N \omega_{\varphi N}^2 & 0 \\ -\mu_{\varphi N} \eta_N \omega_{\varphi N}^2 & \mu_{\varphi N} \omega_{\varphi N}^2 \alpha_{dN}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{uN}^2 \omega_{\varphi N}^2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{F}_T = \begin{bmatrix} \frac{3Q(t)}{3M+m} \\ 0 \\ \frac{P(t)}{M+m} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Kết hợp tiêu chuẩn ổn định theo phương trình ma trận Liapunov và (3.18, 3.19) ta có điều kiện ổn định của hệ con lắc ngược như sau:

$$1 - \eta_N \mu_{\varphi N} \left(\gamma_N + \frac{\eta_N}{\alpha_{dN}^2} \right) > 0 \quad (3.20)$$

Khi thiết kế các bộ hấp thụ dao động TMD-N ta phải chọn các thông số thoả mãn hệ thức (3.20) để công trình làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

3.2.2 Tính toán các thông số của bộ hấp thụ dao động TMD-N để giảm dao động cho cơ cấu con lắc ngược

Đa thức đặc trưng $P(\lambda)$ được xác định như sau:

$$p(\lambda) \equiv \frac{1}{\det[\mathbf{M}_{TMD-N}]} \det[\mathbf{M}_{TMD-N} \lambda^2 + \mathbf{C}_{TMD-N} \lambda + \mathbf{K}_{TMD-N}] \quad (3.21)$$

Thay (3.18, 3.19) vào (3.21) ta suy ra $p(\lambda)$ như sau

$$P(\lambda) = \left\{ \frac{(1 + \mu_{UN})\lambda^2 + \alpha_{UN}^2 \omega_{\varphi N}^2}{(1 + \mu_{UN})} \right\} \{ \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \omega_{\varphi N}^2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 \} = P_1(\lambda) \cdot P_2(\lambda) \quad (3.22)$$

trong đó

$$P_1(\lambda) = \frac{(1 + \mu_{UN})\lambda^2 + \alpha_{UN}^2 \omega_{\varphi N}^2}{1 + \mu_{UN}}; P_2(\lambda) = \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 \quad (3.23)$$

$$a_1 = 2\alpha_{dN} b_1 \xi_N \omega_{\varphi N}, a_2 = (1 + b_1 \alpha_{dN}^2 + \gamma_N \eta_N \mu_{\varphi N}) \omega_{\varphi N}^2, a_3 = 2b_2 \alpha_{dN} \xi_N \omega_{\varphi N}^3,$$

$$a_4 = \omega_{\varphi N}^4 (b_2 \alpha_{dN}^2 - \eta_N^2 \mu_{\varphi N}), b_1 = (1 + \gamma_N^2 \mu_{\varphi N}), b_2 = (1 - \gamma_N \eta_N \mu_{\varphi N}), b_3 = \eta_N + \gamma_N$$

Các nghiệm của $P(\lambda)$ gọi là các cực của hệ. Mục tiêu của việc nghiên cứu là tìm các thông số tối ưu α_{dN}, ξ_N của bộ TMD-N sao cho cực của $P(\lambda)$ có

$$|\operatorname{Re}(\lambda_i)| \Rightarrow \max_{\alpha_{dN}}, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (3.24)$$

$$|\operatorname{Im}(\lambda_i)| \Rightarrow \min_{\xi_N}, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (3.25)$$

Sau khi tìm được α_{dN}, ξ_N tối ưu, các thông số khác của bộ hấp thụ dao động $\gamma_N, \mu_{\varphi N}$ được chọn để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất, nghĩa là

$$D_i = - \left\{ \frac{\operatorname{Re} \lambda_i}{|\lambda_i|} \right\} \Rightarrow \max_{\gamma_N, \mu_{\varphi N}}, \quad i = 1 \div 6 \quad (3.26)$$

Cực của đa thức đặc trưng $P(\lambda)$ là tổ hợp cực của hai đa thức $p_1(\lambda)$ và $P_2(\lambda)$. Ta nhận thấy đa thức $p_1(\lambda)$ trong (3.23) phụ thuộc vào thông số đặc trưng cho chuyển động thẳng đứng của con lắc ngược, cực của đa thức $p_1(\lambda)$ là:

$$\lambda_{1,2} = \pm \alpha_{UN} \omega_{\varphi N} i \sqrt{\frac{1}{1 + \mu_{UN}}} \quad (3.27)$$

Cực của đa thức $p_1(\lambda)$ trong (3.27) chỉ có phần ảo, không có phần thực mà phần ảo thể hiện số lần dao động thực hiện. Vậy để số lần dao động thẳng đứng thực hiện là nhỏ thì từ (3.27) ta nên tăng khối lượng của bộ hấp thụ dao động và thoả mãn điều kiện ổn định (3.20).

Đa thức $p_2(\lambda)$ trong (3.23) phụ thuộc vào tất cả các tham số của bộ hấp thụ dao động và các thông số đặc trưng cho dao động lắc ngang. Vậy việc xác định các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động để giảm dao động lắc ngang hoàn toàn phụ thuộc vào đa thức $p_2(\lambda)$. Sau khi phân tích, tính toán để các cực $p_2(\lambda)$ có độ lớn của phần thực càng lớn càng tốt và độ lớn của các phần ảo càng nhỏ càng tốt ta thu được hai tham số tối ưu sau:

$$\alpha_{optN} = \frac{\sqrt{b_2^2 + \mu_{\varphi N} \eta_N^2 b_1^2}}{b_1 \sqrt{b_2}}; \quad \xi_{optN} = \frac{\sqrt{\mu_{\varphi N} b_3^2}}{\sqrt{b_1 [b_2^2 + \mu_{\varphi N} \eta_N^2 b_1^2]}} \quad (3.28)$$

Bước cuối cùng ta tìm các thông số khác của bộ hấp thụ dao động TMD-N để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất. Bậc của sự tắt dần xác định được là:

$$D_0 = \frac{\sqrt{\mu_{\varphi N} (\gamma_N + \eta_N)^2}}{2\sqrt{(1 - \mu_{\varphi N} \gamma_N \eta_N)^2}} \quad (3.29)$$

Sau khi phân tích để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất và thoả mãn điều kiện ổn định, ta có

$$\mu_{opt} = \mu_{max} < \frac{\alpha_{optN}^2}{\eta_N^2 + \gamma_N \eta_N \alpha_{optN}^2}; \quad \gamma_{optN} = \gamma_{max} < \frac{\alpha_{optN}^2 - \mu_{\varphi N} \eta_N^2}{\mu_{\varphi N} \eta_N \alpha_{optN}^2} \quad (3.30)$$

3.3 Trường hợp con lắc ngược có lắp đặt đồng thời cả hai bộ hấp thụ dao động TMD-N và TMD-D

3.3.1 Nghiên cứu ổn định chuyển động của hệ con lắc ngược theo tiêu chuẩn kỹ thuật trường hợp có lắp đặt cả hai bộ TMD

Ta đưa vào các tham số sau:

$$\begin{aligned} u = L_4 \vartheta_1, L_3 = L_4, \mu_{u1} = \frac{M_1}{M+m}, \mu_{\varphi 1} = \frac{M_1}{M+m/3}, \gamma_1 = \frac{L_2}{L_4}, \omega_u = \sqrt{\frac{K_3}{M+m}} \\ \omega_\varphi = \sqrt{\frac{K_s}{ML_3^2 + mL_4^2/3} - \frac{(6M+3m)g}{6ML_4 + 2mL_4}} = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M+3m)}{2L_4^2(3M+m)}} \quad (3.31) \\ \mu_{\varphi 2} = \frac{M_2}{M+m/3}, \mu_{u2} = \frac{M_2}{M+m}, \gamma_2 = \frac{L_5}{L_4}, \omega_{d2} = \sqrt{\frac{k_2}{M_2}}, \xi_2 = \frac{c_2}{2M_2\omega_{d2}}, \alpha_{d2} = \frac{\omega_{d2}}{\omega_\varphi} \\ \omega_{d1} = \sqrt{\frac{k_1}{M_1}}, \quad \xi_1 = \frac{c_1}{2M_1\omega_{d1}}, \quad \alpha_{d1} = \frac{\omega_{d1}}{\omega_\varphi}, \quad \alpha_u = \frac{\omega_u}{\omega_\varphi}, \quad \eta = \frac{g}{\omega_\varphi^2 L_4} \end{aligned}$$

Thay các tham số từ (3.31) vào phương trình (2.11 ÷ 2.14) ta có:

$$\mathbf{M}_{TMD} \ddot{\mathbf{X}}^* + \mathbf{C}_{TMD} \dot{\mathbf{X}}^* + \mathbf{K}_{TMD} \mathbf{X}^* = \mathbf{F}_{TMD}(t) \quad (3.32)$$

trong đó:

$$\mathbf{M}_{TMD} = \begin{bmatrix} (1 + \mu_{\varphi 1} \gamma_1^2 + \mu_{\varphi 2} \gamma_2^2) & (\mu_{\varphi 1} \gamma_1) & 0 & 0 \\ (\mu_{\varphi 1} \gamma_1) & (\mu_{\varphi 1}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1 + \mu_{u1} + \mu_{u2}) & (\mu_{u2}) \\ 0 & 0 & (\mu_{u2}) & (\mu_{u2}) \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$\mathbf{K}_{TMD} = \begin{bmatrix} (1 - \mu_{\varphi 1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi 2} \gamma_2 \eta) \omega_{\varphi}^2 & -\mu_{\varphi 1} \eta \omega_{\varphi}^2 & 0 & 0 \\ -\mu_{\varphi 1} \eta \omega_{\varphi}^2 & \mu_{\varphi 1} \omega_{\varphi}^2 \alpha_{d1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_u^2 \omega_{\varphi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_{u2} \alpha_{d2}^2 \omega_{\varphi}^2 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$\mathbf{C}_{TMD} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2\xi_1 \alpha_{d1} \mu_{\varphi 1} \omega_{\varphi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\xi_2 \alpha_{d2} \mu_{u2} \omega_{\varphi} \end{bmatrix}; \mathbf{X}^* = \begin{bmatrix} U \\ U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}; \mathbf{F}_{TMD} = \begin{bmatrix} \frac{3Q(t)}{3M+m} \\ 0 \\ \frac{P(t)}{M+m} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Áp dụng tiêu chuẩn ổn định theo phương trình ma trận Liapunov và (3.34, 3.35) ta có điều kiện ổn định của hệ con lắc ngược trong trường hợp lắp cả hai bộ hấp thụ dao động như sau:

$$(1 - \mu_{\varphi 1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi 2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1}^2 - \mu_{\varphi 1} \eta^2 > 0 \quad (3.36)$$

Từ điều kiện ổn định này ta thấy rằng khi thiết kế các bộ hấp thụ dao động, khối lượng của các bộ hấp thụ dao động càng lớn và vị trí lắp đặt các bộ hấp thụ dao động càng cao thì công trình càng mất ổn định. Khi thiết kế các bộ hấp thụ dao động ta phải chọn các thông số thỏa mãn hệ thức (3.36) để công trình làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

3.3.2 Tính toán các thông số của bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho cơ cấu con lắc ngược

Đa thức đặc trưng $p(\lambda)$ được xác định như sau:

$$p(\lambda) \equiv \frac{1}{\det[\mathbf{M}_{TMD}]} \det[\mathbf{M}_{TMD} \lambda^2 + \mathbf{C}_{TMD} \lambda + \mathbf{K}_{TMD}] \quad (3.37)$$

Thay (3.33 ÷ 3.35) vào (3.37) ta suy ra $p(\lambda)$ như sau:

$$\begin{aligned}
 P(\lambda) = & \left\{ \lambda^4 + 2\xi_2 \alpha_{d2} \omega_\varphi \left[1 + \frac{\mu_{u2}}{(1 + \mu_{u1})} \right] \lambda^3 + \left[\frac{(1 + \mu_{u1} + \mu_{u2}) \alpha_{d2}^2 + \alpha_u^2}{(1 + \mu_{u1})} \right] \omega_\varphi^2 \lambda^2 + \right. \\
 & + \frac{2\xi_2 \alpha_{d2} \alpha_u^2 \omega_\varphi^3}{(1 + \mu_{u1})} \lambda + \frac{\alpha_{d2}^2 \alpha_u^2 \omega_\varphi^4}{(1 + \mu_{u1})} \left. \right\} \left\{ \lambda^4 + 2\xi_1 \alpha_{d1} \omega_\varphi \frac{(1 + \mu_{\varphi1} \gamma_1^2 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2)}{(1 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2)} \lambda^3 + \right. \\
 & + \left[\frac{\alpha_{d1}^2 (1 + \mu_{\varphi1} \gamma_1^2 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2) + (1 + \mu_{\varphi1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta)}{(1 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2)} \right] \omega_\varphi^2 \lambda^2 + \\
 & + \frac{2\xi_1 \alpha_{d1} (1 - \mu_{\varphi1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta) \omega_\varphi^3}{(1 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2)} \lambda + \left. \left[\frac{\alpha_{d1}^2 (1 - \mu_{\varphi1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta) - \mu_{\varphi1} \eta^2}{(1 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2)} \right] \omega_\varphi^4 \right\} \quad (3.38)
 \end{aligned}$$

Các nghiệm của $P(\lambda)$ gọi là các cực của hệ. Mục tiêu của việc nghiên cứu là tìm các thông số tối ưu $\xi_1, \xi_2, \alpha_{d1}, \alpha_{d2}$ của bộ TMD-D và TMD-N sao cho cực của $P(\lambda)$ có

$$|\operatorname{Re}(\lambda_i)| \Rightarrow \max_{\alpha_{d1}, \alpha_{d2}}, \quad i = 1, \dots, 8 \quad (3.39)$$

$$|\operatorname{Im}(\lambda_i)| \Rightarrow \min_{\xi_1, \xi_2}, \quad i = 1, \dots, 8 \quad (3.40)$$

Sau khi tìm được $\xi_1, \xi_2, \alpha_{d1}, \alpha_{d2}$ tối ưu, các thông số khác của các bộ hấp thụ dao động $\mu_{u1}, \gamma_1, \mu_{u2}, \gamma_2$ được chọn để bậc của sự tắt dần đạt giá trị lớn nhất và thỏa mãn điều kiện ổn định

$$D_i = - \left\{ \frac{\operatorname{Re} \lambda_i}{|\lambda_i|} \right\} \Rightarrow \max, \quad i = 1 \div 8 \quad (3.41)$$

Từ (3.38 ÷ 3.41) sau khi nghiên cứu, tính toán ta suy ra các tham số tối ưu sau:

$$\alpha_{d2opt} = \frac{\alpha_u \sqrt{1 + \mu_{u1}}}{(1 + \mu_{u1} + \mu_{u2})}; \quad \xi_{2opt} = \sqrt{\frac{(1 + \mu_{u1})(\mu_{u1} + \mu_{u2})}{(1 + \mu_{u1} + \mu_{u2})}} \quad (3.42)$$

$$\alpha_{d1opt} = \sqrt{C \frac{B}{A^2} + \frac{\mu_{\varphi1} \eta^2}{B}}; \quad \xi_{1opt} = \sqrt{\frac{\mu_{\varphi1} C A^2 \eta^2 + ABC(B + 2\mu_{\varphi1} \gamma_1 \eta) - B^2 C^2}{A(B^2 C + \mu_{\varphi1} A^2 \eta^2)}} \quad (3.43)$$

$$A = (1 + \mu_{\varphi1} \gamma_1^2 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2); \quad B = (1 - \mu_{\varphi1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta); \quad C = (1 + \mu_{\varphi2} \gamma_2^2) \quad (3.44)$$

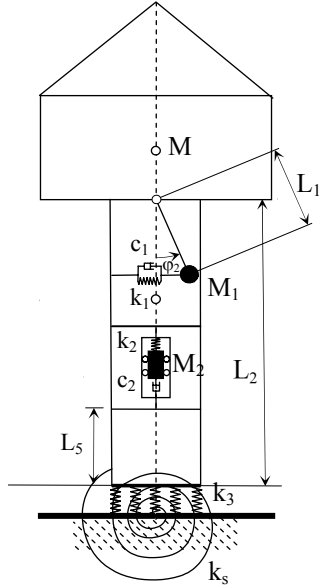
$$\mu_{\varphi1opt} = \mu_{\varphi1max} < \frac{(1 - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1opt}^2}{[\eta^2 + \gamma_1 \eta \alpha_{d1opt}^2]}; \quad \mu_{u2opt} = \mu_{u2max} < \left(\frac{1}{\gamma_2 \eta} - \mu_{\varphi1} \frac{\gamma_1}{\gamma_2} - \frac{\mu_{\varphi1} \eta}{\gamma_2 \alpha_{d1}^2} \right) \quad (3.45)$$

$$\gamma_{1opt} = \gamma_{1max} < \frac{(1 - \mu_{\varphi2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1opt}^2 - \mu_{\varphi1} \eta^2}{\mu_{\varphi1} \eta \alpha_{d1opt}} \quad (3.46)$$

CHƯƠNG 4
MỞ RỘNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TRƯỜNG HỢP CÓ LẮP ĐỒNG
THỜI HAI BỘ TMD-D VÀ DVA VÀ MÔ PHỎNG SỐ CÁC KẾT QUẢ
NGHIÊN CỨU GIẢM DAO ĐỘNG VÀO MỘT SỐ
KẾT CẤU CÔNG TRÌNH

4.1 MỞ RỘNG CÁC KẾT QUẢ
NGHIÊN CỨU TRƯỜNG HỢP CÓ
LẮP HAI BỘ TMD-D VÀ DVA

Trong một số trường hợp việc lắp bộ hấp thụ dao động TMD-N là rất phức tạp, không thích hợp với hoạt động, sinh hoạt của con người, hoặc do về mặt kỹ thuật ta không thể sử dụng được bộ TMD-N, trong trường hợp này ta sử dụng bộ hấp thụ dao động loại con lắc - khối lượng - lò xo, gọi tắt là DVA (Dynamic vibration absorber) được thể hiện trong hình 4.1. Bộ DVA được lắp tại vị trí cách nền ngang một khoảng L_2 , chiều dài của con lắc DVA là L_1 , có khối lượng M_1 , liên kết với con lắc ngược bởi một lò xo có độ cứng k_1 và một bộ cản nhớt tuyến tính có hệ số cản c_1 .



Hình 4.1

Trong trường hợp này, tác giả tiến hành lập phương trình vi phân chuyển động của hệ hoàn toàn như chương 2 ta có:

$$\mathbf{M}_H \ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}_H \dot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}_H \mathbf{X} = \mathbf{F}_H(t) \quad (4.1)$$

trong đó:

$$\mathbf{M}_H = \begin{bmatrix} \left(ML_4^2 + M_2 L_5^2 + \frac{mL_3^2}{3} + M_1(L_2 - L_1)^2 \right) & (M_1 L_1 L_2 - M_1 L_1^2) & 0 & 0 \\ (M_1 L_1 L_2 - M_1 L_1^2) & M_1 L_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (M + M_1 + M_2 + m) M_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_2 \quad M_2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$\mathbf{K}_H = \begin{bmatrix} \left(K_s - MgL_4 - \frac{mgL_3}{2} - M_1gL_2 - M_1gL_1 - M_2gL_5 \right) & -M_1L_1g & 0 & 0 \\ -M_1L_1g & (K_1L_1^2 + M_1gL_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$\mathbf{C}_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1L_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}; \quad \dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \ddot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{U}_1 \\ \ddot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{F}_T = \begin{bmatrix} \text{LQ}(t) \\ 0 \\ \text{P}(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Ta đưa vào các tham số sau:

$$u = L_4\varphi_1, u_d = L_1\varphi_2, L_3 = L_4, \mu_{u1A} = \frac{M_1}{M+m}, \mu = \frac{M_1}{M+m/3}, \gamma = \frac{L_2 - L_1}{L_4}$$

$$\omega_{uA} = \sqrt{\frac{K_3}{M+m}}, \omega_s = \sqrt{\frac{K_s}{ML_3^2 + mL_4^2/3} - \frac{(6M+3m)g}{6ML_4 + 2mL_4}} = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M+3m)}{2L_4^2(3M+m)}} \quad (4.5)$$

$$\mu_{\varphi 2A} = \frac{M_2}{M+m/3}, \mu_{u2A} = \frac{M_2}{M+m}, \gamma_{2A} = \frac{L_5}{L_4}, \omega_{d2A} = \sqrt{\frac{k_2}{M_2}}, \xi_{2A} = \frac{c_2}{2M_2\omega_{d2A}}$$

$$\alpha_{d2A} = \frac{\omega_{d2A}}{\omega_{\varphi A}}, \omega_{d1A} = \sqrt{\frac{k_1}{M_1} + \frac{g}{L_1}}, \xi_{1A} = \frac{c_1}{2M_1\omega_{d1A}}, \alpha_{d1A} = \frac{\omega_{d1A}}{\omega_{\varphi A}}, \alpha_{uA} = \frac{\omega_{uA}}{\omega_{\varphi A}}, \eta = \frac{g}{\omega_{\varphi A}^2 L_4}$$

Thay các tham số không thứ nguyên từ (4.5) vào (4.1 ÷ 4.4) ta thu được các phương trình hoàn toàn giống với các phương trình trường hợp con lắc ngược có lắp hai bộ TMD-D và TMD-N (3.31 ÷ 3.35). Như vậy các kết quả nghiên cứu bộ hấp thụ dao động trong trường hợp lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N hoàn toàn có thể áp dụng cho trường hợp lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động là DVA và TMD-D.

Ta xét trường hợp riêng

Ta xét trường hợp các thông số tối ưu chỉ lắp một bộ hấp thụ dao động DVA của con lắc ngược và chỉ tính đến dao động lắc ngang mà không tính đến dao động thẳng đứng đã được các nhà khoa học N. D. Anh, H. Matsuhisa, L. D. Viet, M. Yasuda nghiên cứu, tính toán và đưa ra kết quả trước đây vào năm 2007. Phần này sẽ so sánh các kết quả nghiên cứu của luận án trong trường hợp đơn giản với kết quả đã được công bố.

Sau khi áp dụng các kết quả nghiên cứu, ta có các thông số tối ưu trong trường hợp riêng này như sau:

$$\alpha_{d_{\text{opt}A}} = \frac{\sqrt{(1-\gamma\eta\mu)^2 + \mu\eta^2(1+\gamma^2\mu)^2}}{(1+\gamma^2\mu)\sqrt{1-\gamma\eta\mu}}; \xi_{\text{opt}A} = \frac{\sqrt{\mu(\gamma+\eta)^2}}{\sqrt{(1+\gamma^2\mu)\left[(1-\gamma\eta\mu)^2 + \mu\eta^2(1+\gamma^2\mu)^2\right]}} \quad (4.6)$$

Kết quả (4.6) hoàn toàn trùng với các kết quả mà các nhà khoa học N. D. Anh, H. Matsuhisa, L. D. Viet, M. Yasuda đã nghiên cứu và đưa ra kết quả trước đây vào năm 2007.

4.2. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG SỐ CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BỘ HẤP THỤ DAO ĐỘNG VÀO MỘT SỐ KẾT CẤU CÔNG TRÌNH

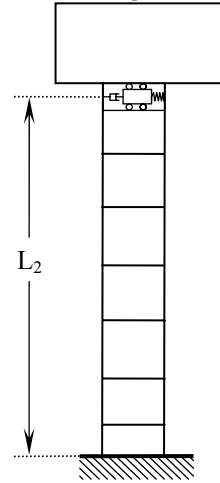
4.2.1 Áp dụng kết quả nghiên cứu bộ hấp thụ dao động, tính toán giảm dao động cho tháp nước

Thực tế các tháp nước được làm bằng vật liệu là bê tông cốt thép và có độ cao lớn, đối với kết cấu dạng này dao động theo phương thẳng đứng là nhỏ nên ta có thể bỏ qua dao động thẳng đứng mà chỉ tính đến dao động lắc ngang. Như vậy đối với các tháp nước ta chỉ cần lắp bộ hấp thụ dao động TMD-N để giảm dao động lắc ngang (hình 4.2)

Xác định hệ số lò xo xoắn thông qua đặc tính của kết cấu vật liệu tháp nước

Do tháp nước là dầm đàn hồi. Nên bước đầu tiên ta phải xác định độ cứng tương đương K_s thông qua độ cứng của kết cấu tháp như sau:

$$K_s = \frac{3EJ}{L_2} \quad (4.7)$$



Hình 4.2

Ta xét tháp nước có các thông số sau:

Chiều dài tháp $L_4 = 250$ m; Đường kính thanh đỡ của tháp: Đường kính ngoài $D = 15$ m, đường kính trong $d = 14$ m; Khối lượng nước chứa ở đỉnh tháp $M = 10 \times 10^5$ kg; Tháp được làm là vật liệu bê tông cốt thép M 300 có các thông số: $E = 3,1 \cdot 10^{10}$ N/m², $\rho = 2400$ kg/m³. (4.8) Mô men quán tính của tháp được xác định theo công thức:

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) = 599 (m^4) \quad (4.9)$$

Khối lượng thanh đỡ được xác định theo công thức:

$$m = \pi \rho \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) L_4 = 13,7 \cdot 10^6 \text{ kg} \quad (4.10)$$

Ta thiết kế bộ TMD-N như sau: Khối lượng của TMD-N là $11,1 \times 10^4$ kg, đặt dưới đáy của bể nước $L_2 \approx L_4 = 250$ m. (4.11)

Thay (4.8, 4.9, 4.10) vào (4.7) ta xác định được hệ số lò xo xoắn như sau:

$$K_s = 2,23 \cdot 10^{11} \text{ Nm} \quad (4.12)$$

Tần số tự nhiên lắc ngang của tháp được tính từ công thức (3.17):

$$\omega_{\phi N} = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M + 3m)}{2L_4^2(3M + m)}} = 0,765 \text{ (rad / s)} \quad (4.13)$$

Từ (3.17, 3.23, 3.28) ta suy ra các thông số tối ưu của bộ TMD-N:

$$\alpha_{optN} = 0,98; \quad \xi_{optN} = 0,15 \quad (4.14)$$

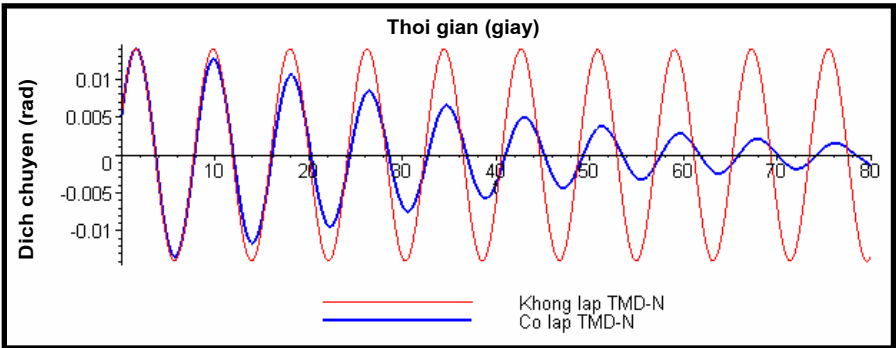
Các tham số này phải thỏa mãn điều kiện ổn định trong công thức (3.20) ta được:

$$1 - \eta_N \mu_{\phi N} \left(\gamma_N + \frac{\eta_N}{\alpha_{optN}^2} \right) = 0,999 > 0 \quad (4.15)$$

Các tham số của bộ TMD-N thu được từ (3.17)

$$k_1 = 6,2 \cdot 10^4 \text{ (N / m)}; \quad c_1 = 2,49 \cdot 10^4 \text{ (Ns / m)} \quad (4.16)$$

Sử dụng phần mềm Maple. Mô phỏng dao động của tháp nước được biểu diễn như sau: Dưới tác dụng của ngoại lực tháp nước lệch một góc $\varphi_1 = 0,005 \text{ (rad)}$ và có vận tốc góc ban đầu $\dot{\varphi}_1 = 0,01 \text{ (rad/s)}$

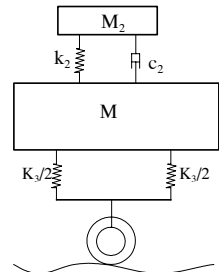


Hình 4.3 Đồ thị biên độ dao động góc quay φ_1 của tháp nước với điều kiện đầu $\varphi_1 = 0,005 \text{ (rad)}$ $\dot{\varphi}_1 = 0,01 \text{ (rad/s)}$

4.2.2 Áp dụng kết quả nghiên cứu bộ hấp thụ dao động, tính toán giảm dao động theo phương thẳng đứng của ô tô

Hình 4.4 mô tả một mô hình đơn giản của một ô tô. Ta sử dụng số liệu sau: Ô tô có khối lượng $M=1200\text{kg}$; hệ thống nhíp tương đương với lò xo có độ cứng $k_3=200 \cdot 10^3 \text{ N/m}$ (4.17)

Vấn đề đặt ra của kỹ thuật là lắp đặt một bộ TMD để giảm dao động theo phương thẳng đứng của ô tô. Ta thiết kế bộ TMD-D như sau: $M_2 = 12 \text{ kg}$ (4.18)



Hình 4.4

Tần số dao động tự nhiên của ô tô và tỉ số khối lượng được tính từ công thức (3.2):

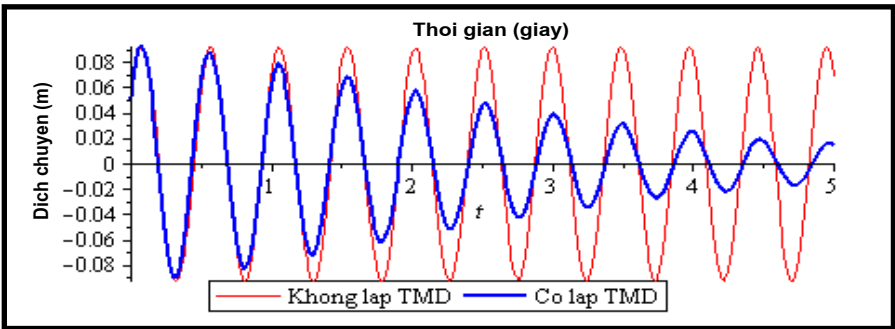
$$\omega_{ud} = \sqrt{\frac{K_3}{M+m}} = 12,9(\text{rad/s}) ; \mu_{ud} = \frac{M_2}{M+m} = 0,01 \quad (4.18)$$

Từ (3.2, 3.13, 4.17, 4.18) ta suy ra hệ số lò xo k_2 và hệ số cản c_2 của TMD-D như sau:

$$k_2 = 1960,6(\text{N/m}) ; c_2 = 30,5(\text{Ns/m}) \quad (4.19)$$

Sử dụng phần mềm Maple mô phỏng dao động của ô tô theo phương thẳng đứng như sau: Dưới tác dụng của ngoại lực ô tô có độ lệch

$U_1 = 0,05$ (m) và có vận tốc ban đầu $\dot{U}_1 = 1,0$ (m/s)



Hình 4.5 Đồ thị biên độ dao động của độ lệch U_1 của ô tô với điều kiện

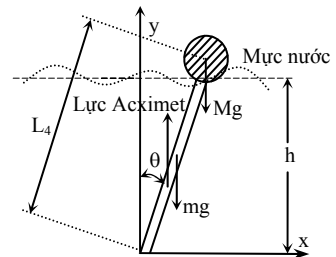
đầu $U_1 = 0,05$ (m), $\dot{U}_1 = 1,0$ (m/s)

4.2.3 Áp dụng kết quả nghiên cứu bộ hấp thụ dao động, tính toán giảm dao động cho tháp ngoài biển

Một trong các cơ cấu con lắc ngược có cả dao động thẳng đứng và lắc ngang đó là tháp ngoài biển. Khi đó ta phải lắp cả bộ TMD-D và TMD-N để giảm dao động cho tháp. Như trong hình 4.6 Mômen phục hồi M_b sinh ra do lực đẩy Archimedes được xác định như sau:

$$M_b = \rho_w g \frac{\pi D^2}{4} \frac{l_s^2}{2} \sin \theta \quad (4.20)$$

trong đó ρ_w khối lượng riêng của nước, l_s là chiều dài phần ngập nước của tháp. Giả sử dao động là nhỏ, chiều dài l_s xấp xỉ bằng chiều cao h và $\sin \theta \approx \theta$. Từ công thức (4.20) dễ dàng tìm hằng số lò xo của mômen xoắn tương ứng:



Hình 4.6

$$K_s = \frac{1}{8} \pi \rho_w g h^2 D^2 \quad (4.21)$$

Sử dụng số liệu số: Chiều dài tháp $L_4 = 400$ m, đường kính thanh đỡ tháp: Đường kính ngoài $D = 15$ m, đường kính trong $d = 14$ m; tháp được làm là vật liệu bê tông cốt thép $M 300$ có các thông số: $E = 3,1 \cdot 10^{10}$ N/m², $\rho = 2400$ kg/m³; khối lượng đầu mút $M = 2,5 \times 10^5$ kg, mực nước trung bình $h = 350$ m, tỷ trọng của nước $\rho_w = 1025$ kg/m³; Ta lắp bộ TMD-D tại vị trí cách đáy một khoảng 400m. (4.22)

Khối lượng của thanh đỡ được xác định theo công thức:

$$m = \pi \rho \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) L_4 = 2,2 \cdot 10^7 \text{ kg} \quad (4.23)$$

Hệ số mômen xoắn tương ứng được tính từ công thức (4.21):

$$K_s = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ (Nm)} \quad (4.24)$$

* Tính K_3 thông qua đặc tính kéo nén của vật liệu đàn hồi cấu tạo nên tháp

$$K_3 = \frac{EF}{L_5} = \frac{E\pi \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right)}{L_5} = 1,7 \cdot 10^9 \text{ (N/m)} \quad (4.25)$$

Thay (4.22 ÷ 4.25) vào (3.31) tần số tự nhiên của tháp được xác định:

$$\omega_\varphi = \sqrt{\frac{6K_s - gL_4(6M + 3m)}{2L_4^2(3M + m)}} = 0,23 \text{ rad/s}; \omega_u = \sqrt{\frac{K_3}{M + m}} = 8,9 \text{ (rad/s)} \quad (4.26)$$

Ta thiết kế khối lượng của TMD-N là $M_1 = 4,5 \times 10^5$ kg, đặt cách đáy biển một khoảng $L_2 = 400$ m. Bộ TMD-D là $M_2 = 4,5 \times 10^5$. Từ công thức (3.42, 3.43, 3.44) suy ra 4 tham số không thứ nguyên của bộ TMD-D và TMD-N:

$$\xi_{1opt} = 0,125; \xi_{2opt} = 0,199; \alpha_{d1opt} = 0,90; \alpha_{d2opt} = 42,48 \quad (4.27)$$

Các tham số này phải thỏa mãn điều kiện ổn định trong công thức (3.36) ta được:

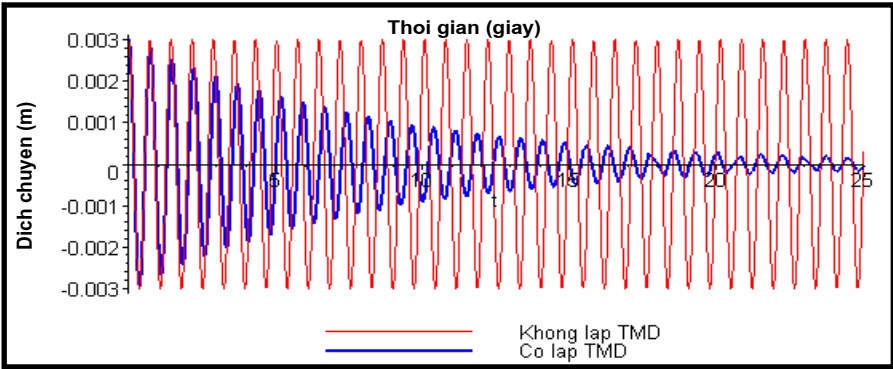
$$(1 - \mu_{\varphi 1} \gamma_1 \eta - \mu_{\varphi 2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1opt}^2 - \mu_{\varphi 1} \eta^2 = 0,756 > 0 \quad (4.28)$$

Tham số của TMD-D và TMD-N thu được từ (3.31) và (4.27)

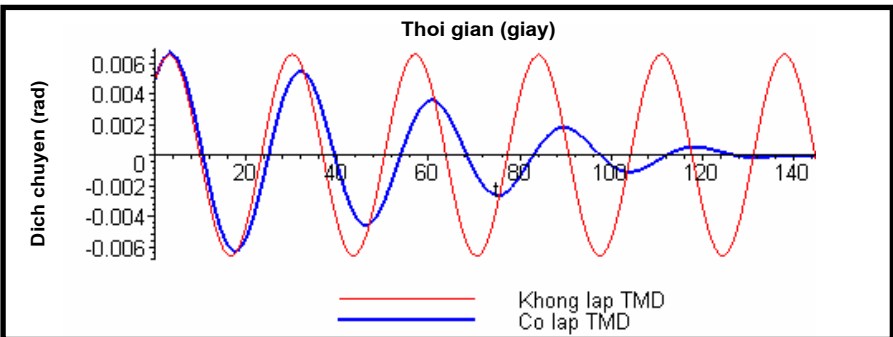
$$c_1 = 1,25 \cdot 10^4 \text{ (Ns/m)}; k_1 = 1,94 \cdot 10^4 \text{ (N/m)}; c_2 = 1,75 \cdot 10^6 \text{ (Ns/m)}; k_2 = 4,30 \cdot 10^7 \text{ (N/m)} \quad (4.29)$$

Sử dụng phần mềm Maple. Mô phỏng dao động của tháp ngoài biển với điều kiện đầu:

$$\varphi_1 = 0,005 \text{ (rad)}, \dot{\varphi}_1 = 0,001 \text{ (rad/s)}, U_1 = 0,003 \text{ (m)}, \dot{U}_1 = 0,002 \text{ (m/s)}$$



Hình 4.7 Đồ thị biên độ dao động theo phương thẳng đứng U_1 của tháp ngoài biển



Hình 4.8 Đồ thị biên độ dao động lắc ngang φ_1 của tháp ngoài biển

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong thực tế nhiều công trình có dạng con lắc ngược. Qua nghiên cứu trong các tài liệu của các nhà khoa học Nguyễn Hoa Thịnh vcs (2005, 2006), Nguyễn Đông Anh vcs (2007) cho thấy dao động của công trình có dạng con lắc ngược DKI bao gồm hai loại dao động: Dao động của công trình DKI dưới tác dụng của sóng điều hòa có tần số rất thấp, khoảng 0,1 Hz, chỉ gây ra các dao động rất chậm nên có thể coi là các tải trọng tựa tĩnh như trong tính toán thiết kế cơ bản. Tuy nhiên các dao động rung lắc có tần số là tần số riêng của công trình dưới tác dụng của tải trọng va đập (khối nước va, gió giật ...) mới chính là dao động đặc biệt có hại với độ bền và tuổi thọ của công trình DKI, vì các dao động rung lắc có tần số cao gấp vài chục lần tần số của sóng biển, là một trong các dao động có hại không mong muốn cần được hạn chế. Đáp ứng gây ra dao động có hại cho công trình có dạng con lắc ngược bao gồm hai loại chính là đáp ứng ngang và thẳng đứng liên quan đến hiện tượng lắc ngang và nhổ cọc. Hơn nữa, trong các kết quả nghiên cứu

trước đây của các tác giả trong và ngoài nước, mới chỉ nghiên cứu dao động lắc ngang, chưa tính đến dao động thẳng đứng của con lắc ngược. Bởi vậy luận án nghiên cứu tính toán dao động cho cơ cấu cơ học có lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động TMD để giảm dao động rung lắc theo phương thẳng đứng và ngang của hệ con lắc ngược theo phương pháp cân bằng cực. Các kết quả nghiên cứu thu được như sau:

I. Tác giả đã thiết lập mô hình cơ học và mô hình toán học để xác định dao động của cơ cấu con lắc ngược có sử dụng đồng thời hai bộ hấp thụ dao động. Để tìm phương trình vi phân dao động của hệ, tác giả sử dụng phương trình Lagrang II. Hệ phương trình vi phân tìm được là hệ tuyến tính. Từ quy luật chuyển động của hệ con lắc ngược, nhận thấy có chứa các đại lượng của bộ hấp thụ dao động, đây chính là cơ sở để các nhà khoa học nghiên cứu, phân tích, tính toán tìm các thông số của các bộ hấp thụ dao động theo các tiêu chuẩn tối ưu khác nhau.

II. Với mục tiêu là tìm các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động để tăng các đặc trưng cần lớn nhất của hệ, tác giả đã nghiên cứu, tính toán và đưa ra kết luận:

1. Để tăng đặc tính tắt dần và giảm số lần dao động thẳng đứng, ta nên tăng khối lượng của các bộ hấp thụ dao động, tuy nhiên cần đảm bảo để công trình làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

2. Để tăng đặc tính tắt dần và giảm số lần dao động lắc ngang, ngoài tăng khối lượng của các bộ hấp thụ dao động, ta còn nên tăng độ cao vị trí lắp đặt bộ hấp thụ dao động và đảm bảo điều kiện ổn định, đây cũng là điểm khác biệt giữa dao động thẳng đứng và dao động lắc ngang. Điều này khẳng định rằng: Khi lắp bộ hấp thụ dao động cho các toà nhà cao tầng ta nên lắp tại các tầng cao của toà nhà, đối với các công trình như tháp vô tuyến, giàn khoan, công trình biển... ta nên lắp bộ hấp thụ dao động tại những vị trí cao của công trình và thoả mãn điều kiện ổn định.

3. Tác giả đã tính toán xác định được các thông số tối ưu cho bộ hấp thụ dao động trong từng trường hợp cụ thể của mô hình con lắc ngược như sau:

Trường hợp 1. Cơ cấu con lắc ngược chỉ lắp bộ hấp thụ dao động TMD-D

$$\alpha_{optD} = \frac{\alpha_{UD}}{(1 + \mu_{UD})}; \quad \xi_{optD} = \sqrt{\frac{\mu_{UD}}{(1 + \mu_{UD})}}; \quad \mu_{optD} = \mu_{max} < \frac{1}{\gamma_D \eta_D}$$

Trường hợp 2. Cơ cấu con lắc ngược chỉ lắp bộ hấp thụ dao động TMD-N

$$\alpha_{optN} = \frac{\sqrt{b_2^2 + \mu_{\varphi N} \eta_N^2 b_1^2}}{b_1 \sqrt{b_2}}; \quad \xi_{optN} = \frac{\sqrt{\mu_{\varphi N} b_3^2}}{\sqrt{b_1 [b_2^2 + \mu_{\varphi N} \eta_N^2 b_1^2]}}$$

$$b_1 = (1 + \gamma_N^2 \mu_{\varphi N}), \quad b_2 = (1 - \gamma_N \eta_N \mu_{\varphi N}), \quad b_3 = \eta_N + \gamma_N$$

$$\mu_{opt} = \mu_{max} < \frac{\alpha_{optN}^2}{\eta_N^2 + \gamma_N \eta_N \alpha_{optN}^2}; \quad \gamma_{optN} = \gamma_{max} < \frac{\alpha_{optN}^2 - \mu_{\varphi N} \eta_N^2}{\mu_{\varphi N} \eta_N \alpha_{optN}^2}$$

Trường hợp 3. Cơ cấu con lắc ngược có lắp đồng thời hai bộ hấp thụ dao động TMD-D và TMD-N

$$\alpha_{d2opt} = \frac{\alpha_u \sqrt{1 + \mu_{u1}}}{(1 + \mu_{u1} + \mu_{u2})}; \quad \xi_{2opt} = \sqrt{\frac{(1 + \mu_{u1})(\mu_{u1} + \mu_{u2})}{(1 + \mu_{u1} + \mu_{u2})}}$$

$$\alpha_{d1opt} = \sqrt{C \frac{B}{A^2} + \frac{\mu_{\phi 1} \eta^2}{B}}; \quad \xi_{1opt} = \sqrt{\frac{\mu_{\phi 1} C A^2 \eta^2 + ABC(B + 2\mu_{\phi 1} \gamma_1 \eta) - B^2 C^2}{A(B^2 C + \mu_{\phi 1} A^2 \eta^2)}}$$

$$A = (1 + \mu_{\phi 1} \gamma_1^2 + \mu_{\phi 2} \gamma_2^2); \quad B = (1 - \mu_{\phi 1} \gamma_1 \eta - \mu_{\phi 2} \gamma_2 \eta); \quad C = (1 + \mu_{\phi 2} \gamma_2^2)$$

$$\mu_{\phi 1opt} = \mu_{\phi 1max} < \frac{(1 - \mu_{\phi 2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1opt}^2}{[\eta^2 + \gamma_1 \eta \alpha_{d1opt}^2]}; \quad \mu_{u2opt} = \mu_{u2max} < \left(\frac{1}{\gamma_2 \eta} - \mu_{\phi 1} \frac{\gamma_1}{\gamma_2} - \frac{\mu_{\phi 1} \eta}{\gamma_2 \alpha_{d1}^2} \right)$$

$$\gamma_{1opt} = \gamma_{1max} < \frac{(1 - \mu_{\phi 2} \gamma_2 \eta) \alpha_{d1opt}^2 - \mu_{\phi 1} \eta^2}{\mu_{\phi 1} \eta \alpha_{d1opt}}$$

III. Trong thực tế khi lắp đặt bộ hấp thụ dao động, tuy vẫn giảm dao động cho công trình, nhưng công trình vẫn bị phá hoại. Sự phá hoại này do một nguyên nhân khác, đó là công trình bị mất ổn định. Bởi vậy ngoài xác định các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho cơ cấu con lắc ngược, tác giả còn xác định các thông số của bộ hấp thụ dao động để công trình làm việc ổn định theo tiêu chuẩn của kỹ thuật.

IV. Mục đích của việc thiết kế các bộ hấp thụ dao động là làm giảm dao động của hệ hệ con lắc ngược một cách tối ưu, để đáp ứng yêu cầu của các nhà kỹ thuật. Các nghiên cứu cho thấy rằng: Khi áp dụng các kết quả nghiên cứu ở trên, tính toán các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động để giảm dao động cho tháp nước, dao động thẳng đứng của ô tô, tháp ngoài biển, thì thấy biên độ dao động của các cơ cấu này giảm rất nhiều theo thời gian so với trường hợp không lắp đặt bộ hấp thụ dao động. Điều này đáp ứng được yêu cầu giảm dao động của kỹ thuật đặt ra.

V. Các nghiên cứu lý thuyết đã được kiểm chứng trên những ví dụ cụ thể bằng phần mềm MAPLE, đây là phần mềm được các nhà khoa học trên thế giới chuyên dùng và cho kết quả tin cậy.

VI. Sự đúng đắn của kết quả nghiên cứu còn được kiểm chứng khi so sánh các kết quả thu được trong trường hợp đơn giản hơn với kết quả đã được công bố của các nhà khoa học đã nghiên cứu và đưa ra kết quả trước đây.

Các vấn đề cần nghiên cứu tiếp

1. Tiếp tục tìm các thông số tối ưu của bộ hấp thụ dao động dựa trên các tiêu chí khác mà thực tiễn khoa học và kỹ thuật đặt ra.
2. Cơ cấu con lắc ngược mới chỉ áp dụng cho mô hình phẳng, cần tiếp tục mở rộng cho bài toán có mô hình không gian.
3. Để đưa các kết quả nghiên cứu vào ứng dụng thực tế cần nghiên cứu thực nghiệm.