

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

CHÂU SI QUANH

NGHIÊN CỨU GIẢM DAO ĐỘNG
CỦA THÁP CẦU DÂY VĂNG
BẰNG HỆ THỐNG CHẤT LỎNG

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông

Mã số: 60.58.02.05

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Đà Nẵng – Năm 2015

Công trình được hoàn thành tại
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học: PGS TS. NGUYỄN XUÂN TOẢN

Phản biện 1: TS. Cao Văn Lâm

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Phi Lân

Luận văn đã được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ Kỹ thuật họp tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 18 tháng 10 năm 2015

* Có thể tìm hiểu luận văn tại:

– Trung tâm Thông tin - Học liệu, Đại học Đà Nẵng

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Cầu dây văng được áp dụng và phát triển trên cơ sở hoàn thiện hệ dàn dây Gislard theo hướng tạo một hệ bất biến hình gồm các dây xiên (dây văng) chịu kéo và dầm cứng chịu uốn. Từ chiếc cầu đầu tiên, cầu Stromsund được xây dựng ở Thụy Điển năm 1955, đến nay cầu dây văng được ứng dụng rộng rãi trên toàn thế giới và đạt được các thành tựu rực rỡ và số lượng này ngày càng tăng thêm nhanh chóng. Các kỷ lục chiều dài nhịp liên tục bị vượt qua trong thời gian rất ngắn, nhiều cầu đã trở thành di sản văn hóa, biểu tượng kiến trúc, đánh dấu sự phát triển khoa học kỹ thuật của thời đại. Trong các hội nghị chuyên đề về cầu dây văng tổ chức tại Thụy Điển năm 2000, tại Áo năm 2003, kết cấu cầu dây văng được tiếp tục nhận định là xu hướng phát triển chính trong những năm tới. Nhiều dự án cầu dây văng nhịp trên 1000m đang được nghiên cứu như cầu qua vịnh Messina (Italia), cầu qua vịnh Storebelt (Đan Mạch) và cầu qua eo biển Gibraltar nối liền hai châu lục Âu-Phi.

Tuy nhiên khi nói đến cầu dây văng thì mối quan tâm lớn nhất đó chính là tác động động lực học ảnh hưởng đối với loại kết cấu nhạy cảm này. Nhiều nghiên cứu nhận thấy rằng tác động động lực học gây dao động cho các kết cấu công trình làm tăng khả năng mất ổn định động lực do cộng hưởng, tăng nội lực và biến dạng trong các bộ phận kết cấu, đẩy nhanh tốc độ phá hoại do mỏi, gây hư hỏng và giảm tuổi thọ của các phương tiện.

Đối với cầu dây văng, các tác động này bao gồm: tác động thường xuyên do gió, tác động của hoạt tải và các tác động mang tính chất tức thời khác như động đất, va xô tàu bè hoặc ô tô vào trụ cầu.

Trong thời gian gần đây, với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ vật liệu đã tạo ra những loại vật liệu có trọng lượng ngày càng giảm trong khi cường độ ngày càng tăng cao đã tạo điều kiện phát triển mới cho cầu dây văng hiện đại. Các kết cấu ngày càng trở nên thanh mảnh hơn, có trọng lượng thấp hơn và có thể vượt những khẩu độ lớn hơn. Tuy nhiên, việc áp dụng các loại vật liệu trọng lượng thấp, cường độ cao, tức là giảm độ cứng chống uốn và chống xoắn, làm cho kết cấu có biến dạng lớn hơn và nhạy cảm với dao động do tác động bên ngoài. Do vậy, đánh giá các tác động gây ra dao động như hoạt tải, gió và động đất có vai trò quan trọng thiết kế với các loại hình kết cấu này.

Để giải quyết bài toán ổn định, giảm dao động bất lợi cho kết cấu, việc thiết kế kháng chấn đã trở thành yêu cầu bắt buộc trong quá trình thiết kế và xây dựng. Trong các giải pháp kháng chấn, giải pháp sử dụng thiết bị giảm chấn kiểu bị động nói chung và bộ giảm chấn dùng chất lỏng (TLD) nói riêng rất có hiệu quả bởi các lý do như khả năng hấp thụ cũng như tiêu tán năng lượng dao động cao ngay cả với các kích động nhỏ; dễ chế tạo và lắp đặt; giá thành thấp nên khá phù hợp trong điều kiện nước ta.

Trên thế giới việc áp dụng giảm chấn chất lỏng (TLD) để giảm dao động cho các công trình xây dựng nói chung và cho cầu dây văng nói riêng đã nhận được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học. Ở Việt Nam, một số tác giả đã bắt đầu quan tâm nghiên cứu đến sự làm việc của hệ giảm chấn chất lỏng kể từ khi hệ thống này được lắp đặt tại công trình cầu Bãi Cháy năm 2006, điển hình là GS. TS. Nguyễn Đông Anh với cuốn sách chuyên khảo đã đề cập đến đặc trưng cơ lý cơ bản của hoạt động chất lỏng trong thùng chứa [2], tiếp đó là đề tài

ngiên cứu khoa học cấp viện khoa học và công nghệ (2009) [1]. Sau công trình cầu Bãi Cháy, hàng loạt các câu hỏi đặt ra về việc áp dụng hệ giảm chấn này và kèm theo là các nghiên cứu muốn tìm ra câu trả lời để các kỹ sư Việt Nam có thể tính toán, thiết kế và áp dụng cho các công trình khác. Vậy hiệu quả của hệ giảm chấn dùng chất lỏng này thế nào và ảnh hưởng của số lượng, cách bố trí các thùng đến hiệu quả giảm dao động thế nào là những câu hỏi cần được làm sáng tỏ.

Đề tài tập trung vào nghiên cứu TLD bao gồm: nghiên cứu tổng quan về cấu tạo, nguyên lý làm việc và nguyên lý chung tính toán hệ TLD khi được lắp đặt vào kết cấu. Nghiên cứu mô hình tính toán thiết kế TLD để nhằm khảo sát được sự ảnh hưởng của các tham số TLD đến hiệu quả giảm dao động của TLD cho các kết cấu dạng cột, từ đó thúc đẩy việc ứng dụng cho thiết kế kháng chấn cho tháp cầu dây văng. Luận văn chỉ ra có 2 loại hệ TLD cơ bản là: Loại chỉ bao gồm 1 hoặc nhiều thùng chứa chất lỏng có cùng tần số dao động riêng – gọi là loại giảm chấn chất lỏng đơn tần số (viết tắt là STLD) và loại gồm nhiều thùng chứa chất lỏng với các thùng có tần số dao động riêng khác nhau trong một dải tần số tính toán nào đó – gọi là loại giảm chấn chất lỏng đa tần số (viết tắt là MTLT). Nghiên cứu về hệ STLD khá đầy đủ với nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới, trong khi nghiên cứu về hệ MTLT còn sơ sài và chủ yếu là các nghiên cứu thực nghiệm, bán thực nghiệm. Để làm rõ hơn về khả năng áp dụng hệ MTLT thông qua việc phân tích tính toán mô hình làm việc chung giữa kết cấu và MTLT, là đối tượng nghiên cứu chính của luận văn.

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Mục tiêu nghiên cứu của đề tài bao gồm:

❖ Nghiên cứu chi tiết lý thuyết về hệ giảm chấn chất lỏng bao gồm: cấu tạo, đặc tính làm việc và các thông số có liên quan tới hiệu quả giảm dao động cho tháp cầu dây văng.

❖ Nghiên cứu hàm ứng xử tần số để đánh giá khả năng giảm dao động cho kết cấu đồng thời so sánh hiệu quả giảm dao động khi kết cấu lắp đặt hệ STLD và MTLT.

❖ Khảo sát về một số tham số hợp lý cho hệ MTLT nhằm tăng hiệu quả giảm dao động cho hệ.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD và kết cấu tháp cầu dây văng.

Phạm vi nghiên cứu của đề tài là nghiên cứu giảm dao động của tháp cầu dây văng bằng hệ thống chất lỏng TLD dưới tác dụng của tải trọng gió.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD và hiệu quả giảm dao động của TLD đối với kết cấu tháp cầu dây văng dựa trên cơ sở lý thuyết. Đồng thời sử dụng phần mềm Matlab để xây dựng các đồ thị liên quan giữa các đại lượng, qua đó thể hiện được hiệu quả giảm dao động của tháp cầu dây văng khi gắn thiết bị giảm chấn chất lỏng.

5. Bộ cục đề tài

- ❖ Mở đầu.
- ❖ Chương 1: Tổng quan về cầu dây văng và thiết bị giảm chấn chất lỏng.
- ❖ Chương 2: Cơ sở lý thuyết tính toán hệ giảm chấn chất lỏng (TLD).
- ❖ Chương 3: Phân tích và đánh giá hiệu quả giảm dao động cho tháp cầu dây văng của hệ MTLĐ so với hệ STLD và kết cấu khi không có TLD thông qua hàm ứng xử tần số.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ CẦU DÂY VĂNG VÀ THIẾT BỊ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG

1.1. TỔNG QUAN VỀ CẦU DÂY VĂNG VÀ DAO ĐỘNG CỦA THÁP CẦU

Cầu dây văng là một hệ làm việc phức tạp bao gồm sự tác động chịu lực qua lại của các bộ phận mà chủ yếu là: tháp cầu, dây văng và dầm. Với kết cấu hệ dây, tương ứng với chiều dài vượt nhịp lớn thì tháp cầu dây văng khá cao nên vấn đề dao động đặc biệt được quan tâm hơn nữa vì kết cấu này rất nhạy cảm với các tác động động lực học như hoạt tải xe, gió và động đất.

Trong cầu dây văng, tháp cầu đóng một vai trò rất quan trọng trong sự làm việc của cầu, với chiều cao tháp cầu khá lớn, kết cấu thanh mảnh và dưới tác động theo phương ngang ảnh hưởng lớn đến sự làm việc của kết cấu tháp nói riêng cũng như kết cấu cầu dây văng nói chung. Hơn nữa do ảnh hưởng của hệ dây, các dây văng được neo vào tháp và dầm tạo thành các tam giác chịu lực cơ bản và hình

thành nên các gối đàn hồi trung gian. Nhờ các gối đàn hồi này mà nội lực, độ võng do tĩnh tải và hoạt tải được giảm đi rất nhiều.

Đối với cầu dây văng một mặt phẳng dây, mặt phẳng này chỉ có 2 liên kết vào tháp và dầm, tháp thường có dạng một cột thẳng đứng nằm giữa cầu. Theo phương dọc cầu tháp cầu có hệ cáp văng để tăng cường độ cứng còn theo phương ngang cầu không được tăng cường cho nên sự làm việc theo phương ngang cầu rất bất lợi đặc biệt khi chịu tác động của các lực ngang như gió. Theo phương ngang tháp bị nén uốn như một thanh một đầu ngàm, một đầu tự do nên yêu cầu kích thước tương đối lớn. Kích thước chân tháp lớn, nằm giữa cầu nên chiếm dụng diện tích phần xe chạy, tăng độ lệch tâm của hoạt tải, gây bất lợi cho dầm chủ chịu xoắn. Và do vậy tháp cầu khi không có sự kết hợp của dầm dây là bất lợi nhất và việc nghiên cứu dao động của tháp cầu dây văng một mặt phẳng dây là hết sức cần thiết và có ý nghĩa.

1.2. CÁC NGUYÊN NHÂN GÂY DAO ĐỘNG VÀ BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN DAO ĐỘNG

Dao động của hệ kết cấu có thể có ích cho sự làm việc của chúng cũng có thể gây nguy hại cho chính bản thân kết cấu. Việc thiết kế hoàn hảo một kết cấu làm việc có hiệu quả tốt hiện nay phải bao gồm cả việc xét đến các tác động động nhay cảm như gió, động đất và hoạt tải.

Bài toán điều khiển dao động được gọi là đạt hiệu quả khi chủ yếu có thể kiểm soát được biên độ dao động hoặc giảm thời gian tắt dao động (làm cho dao động tắt nhanh) [6].

Một hiện tượng cần được đặc biệt quan tâm trong bài toán điều khiển dao động là hiện tượng cộng hưởng. Nhiều nghiên cứu cho

thấy hiệu ứng động lực trong kết cấu sẽ tăng lên rất nhanh khi tần số kích động ở trong khoảng xấp xỉ hoặc là bội số của tần số dao động riêng của kết cấu.

1.2.1. Tác động do hoạt tải

1.2.2. Tác động do động đất

1.2.3. Tác động do gió

1.3. TỔNG QUAN VỀ HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG TLD

Hệ giảm chấn dùng chất lỏng là một dạng thiết bị điều khiển dao động kiểu bị động – gọi tắt là TLD (Tuned Liquid Damper). Hệ thiết bị này có thể giảm các tác động động lực học như động đất, gió, bão hay hoạt tải khi thừa nhận các công nghệ làm tăng đặc tính cản cho kết cấu.

Hoạt động của hệ thiết bị dựa trên cơ sở sự chuyển động văng té của chất lỏng trong một thùng cứng mà kết quả làm cho dao động của kết cấu phân tán một phần năng lượng do tác động của tải trọng động và do vậy tăng tính cản tương đương cho kết cấu.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của hệ giảm chấn chất lỏng nói chung là dựa vào sự phát triển chuyển động sóng tại bề mặt tự do của chất lỏng để giải phóng một phần năng lượng động học.

Hệ giảm chấn chất lỏng (TLD) bao gồm sự tham gia của một hoặc nhiều thùng chứa chất lỏng vào sự làm việc của kết cấu. Nếu hệ gồm các thùng chứa chất lỏng mà các thùng cùng chứa một lượng chất lỏng với chiều sâu như nhau thì hệ này được gọi là hệ giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD). Nếu hệ giảm chấn chất lỏng có sự tham gia của nhiều thùng chứa chất lỏng mà các thùng có tần số dao động riêng khác nhau với khoảng chênh lệch nhất định thì hệ này gọi là hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD).

Các tham số cấu tạo cơ bản của giảm chấn chất lỏng bao gồm: đặc điểm của thùng chứa chất lỏng và chất lỏng trong thùng chứa như sau:

1.3.1. Thùng cứng chứa chất lỏng

1.3.2. Chuyển động chất lỏng trong thùng chứa chất lỏng TLD

CHƯƠNG 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN

HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG (TLD)

Hiệu quả giảm dao động cho kết cấu chịu ảnh hưởng của các tham số giảm chấn trong đó có đặc điểm cấu tạo của hệ giảm chấn chất lỏng gồm: hình dạng và kích thước thùng chứa, chiều sâu chất lỏng trong thùng, số lượng thùng, tỷ số chiều sâu chất lỏng, ... cần được phân tích kỹ lưỡng trên cơ sở phân tích sự làm việc của một giảm chấn đơn lẻ trong sự tương tác giữa hệ TLD và kết cấu. Cụ thể như sau:

2.1. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG (TLD)

Hoạt động cơ bản của giảm chấn chất lỏng TLD được hình thành trên cơ sở hoạt động của chất lỏng bên trong thùng chứa. Khi thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD chuyển động (thường là do tác động của hệ kết cấu chuyển động kéo theo), nước trong thùng chứa chất lỏng chuyển động dạng chuyển động sóng. Các sóng nước hình thành có thể có dạng là một sóng tuyến tính, sóng dài, sóng nông và đôi khi là hình thành cả sóng vỡ. Ảnh hưởng của mỗi loại chuyển

động sóng khác nhau sẽ tạo ra hiệu quả điều khiển dao động cho kết cấu của TLD là khác nhau.

Đặc trưng của hệ giảm chấn chất lỏng TLD bao gồm các đặc tính phi tuyến của độ cứng và tính cản bên trong giảm chấn. Chúng bị ảnh hưởng bởi các đặc trưng như vật liệu của bản thân giảm chấn chất lỏng, kích thước của thùng chứa chất lỏng, tỷ số chiều sâu chất lỏng so với kích thước thùng chứa và tính nhớt của chất lỏng.

2.2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHÂN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG TRONG THÙNG CHỨA

Việc tính toán tác động của chất lỏng trong thùng chứa dựa trên cơ sở lý thuyết sóng gồm các lý thuyết tuyến tính đối với các chuyển động của sóng được thể hiện nhằm mục đích hiểu rõ các đặc trưng cơ sở của chuyển động văng té của chất lỏng bên trong thùng chứa, chẳng hạn như tần số dao động tự nhiên, áp lực phân bố và sự phân tán có liên quan, v.v...

2.2.1. Lý thuyết sóng nước nông tuyến tính

2.2.2. Lý thuyết sóng nước sâu, sóng nước nông và sóng dài

2.3. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG (TLD) VÀ HỆ TƯƠNG TÁC GIỮA KẾT CẤU VÀ TLD

Mô hình tính toán hệ giảm chấn chất lỏng TLD chủ yếu là các mô hình phi tuyến do hoạt động của chất lỏng trên cơ sở lý thuyết sóng nước nông (dưới tác dụng động của các lực kích thích).

Không giống như TMD là một hệ tuyến tính, TLD có các đặc trưng phi tuyến nên phải được mô hình hóa như một hệ phi tuyến. Tham số độ cứng k_d , cản c_d và lực cắt cơ sở (hoặc lực cản) do TLD F_w và lực giảm chấn F_d (mô hình TMD tương đương) cần được thể hiện ở đặc tính phi tuyến của giảm chấn chất lỏng khi được áp dụng.

2.4. CƠ CHẾ TẠO LỰC CẢN DO CHẤT LỎNG CHUYỂN ĐỘNG VĂNG TẾ TRONG GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG (TLD)

Tần số tự nhiên của chất lỏng văng tế trong thùng chứa hình chữ nhật tăng cùng với sự tăng của biên độ kích thích. Khi biên độ kích thích là nhỏ hoặc tần số kích thích là khá xa với tần số cộng hưởng, biên độ sóng là nhỏ thì sóng vỡ không xuất hiện. Tần số dao động riêng của TLD và tham số cản của TLD là các hàm phụ thuộc chiều cao chất lỏng chuyển động văng tế nên mang đặc trưng phi tuyến mạnh. Trong các khảo sát của luận văn, để tránh hiện tượng công hưởng xảy ra gây khó khăn cho việc xác định các tham số này, thừa nhận biên độ kích động là nhỏ. Gọi f_{TLD} là tần số dao động riêng của thiết bị giảm chấn chất lỏng TLD và được xác định theo công thức:

$$f_{TLD} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{L} \tanh\left(\pi \frac{h}{L}\right)} \quad : \text{ đối với thùng chứa chất lỏng hình chữ nhật} \quad (2.30)$$

$$f_{TLD} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1.17\pi g}{D} \tanh\left(\frac{1.17\pi h}{D}\right)} \quad : \text{ đối với thùng chứa chất lỏng hình tròn} \quad (2.31)$$

Tham số cản của TLD, ξ_D được xác định theo công thức:

$$\xi_D = \frac{1}{h} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu}{\pi f_{TLD}}} \left(1 + \frac{h}{b}\right) \quad \text{Fujino (1993)} \quad (2.34)$$

$$\xi_D = \frac{1}{h} \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\omega \nu} \left(1 + \frac{2h}{b} + S\right)}{2\sqrt{2}(\eta + h)\omega_D} \quad \text{Sun (1992)} \quad (2.35)$$

2.5. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ GIẢI BÀI TOÁN LÀM VIỆC CHUNG GIỮA KẾT CẤU VÀ HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG

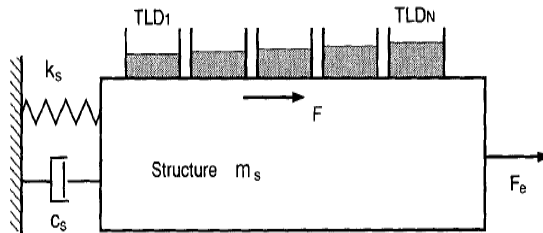
Bản chất của bài toán thiết kế giảm chấn cho hệ kết cấu là bài toán phân tích động nhằm xác định tần số dao động riêng, biên độ dao động của kết cấu, từ đó lựa chọn các tham số của giảm chấn sao cho hệ kết cấu – giảm chấn ổn định với biên độ dao động không lớn và dao động tắt nhanh dưới các tác động động học như gió, động đất và hoạt tải.

2.5.1. Phương pháp truyền thống

2.5.2. Phương pháp năng lượng

2.6. GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG ĐA TẦN SỐ MTLD VÀ CÁC GIẢI THIỆT CHO VIỆC XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH HÀM ỨNG XỬ TẦN SỐ

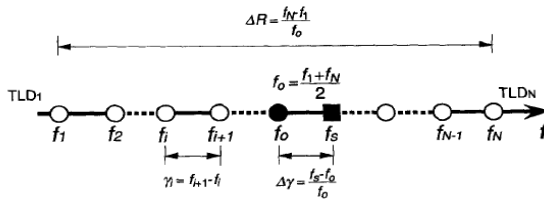
Bài toán với kết cấu là một bậc tự do và giảm chấn là bậc tự do còn lại là mô hình tính toán cho hệ tương tác giữa kết cấu và giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD đã được đề cập và phân tích trong chương 1 và phần trên chương 2 của luận văn. Bài toán với kết cấu là một bậc tự do và giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là đa bậc tự do được sử dụng cho mô hình tính toán hiệu quả giảm chấn thông qua việc thiết lập hàm ứng xử tần số phức cho hệ.



Hình 2.5. Mô hình kết cấu và giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD)

Tần số dao động riêng của mỗi thùng chứa chất lỏng được tạo ra là khác nhau bằng cách thay đổi kích thước hoặc lượng chất lỏng trong mỗi thùng. Thuận tiện cho việc chế tạo và lắp đặt hơn cả là cách thay đổi một lượng nhỏ chất lỏng trong mỗi thùng.

Mỗi thùng TLD đơn này sẽ được mô hình như một TMD tương đương và có thể coi như một bậc tự do trong bài toán xét tương tác của kết cấu và giảm chấn chất lỏng đa tần số.



Hình 2.6. Mô hình đa bậc tự do mô phỏng
cho các TLD đơn trong hệ MTLĐ

2.6.1. Các tham số đầu vào cơ bản của giảm chấn chất lỏng đa tần số

2.6.2. Giả thiết cho việc xây dựng phương trình hàm ứng xử tần số

2.7. HÀM ỨNG XỬ TẦN SỐ CHO HỆ TƯƠNG TÁC GIỮA KẾT CẤU VÀ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG ĐA TẦN SỐ MTLĐ

Hàm ứng xử tần số – Hàm thể hiện mối tương quan giữa ứng xử của kết cấu và tỷ số tần số (tỷ số giữa tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu). Phân tích ảnh hưởng của các tham số trong hàm ứng xử tần số để có thể đánh giá hiệu quả giảm dao động cho kết cấu công trình của hệ tương tác giữa kết cấu và giảm chấn là một trong những nội dung quan trọng. Đây là dữ liệu cơ sở hướng

dẫn các kỹ sư sau này thiết kế giảm chấn cho các kết cấu nhạy cảm trước các tác động độc lực học.

Phương trình hàm ứng xử tần số được xây dựng và chỉ ra trong các nghiên cứu trước đây về TLD (Fujino, 1993 [19]) được thể hiện dưới dạng ma trận là hàm ứng xử của hệ tương tác giữa kết cấu và giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD.

Từ phương trình động học:

$$\begin{bmatrix} m_s & 0 \\ 0 & m_D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_D \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s + c_D & -c_D \\ -c_D & c_D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_D \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s + k_D & -k_D \\ -k_D & k_D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_s \\ x_D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.63)$$

2.7.1. Hàm ứng xử tần số cho hệ giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD

Hàm ứng xử tần số được thiết lập trong nghiên cứu của Fujino cho hệ tương tác giữa kết cấu và TLD đơn là:

- Dạng có thứ nguyên:

$$H_S(\omega) = \frac{F_0}{\left[\left(-\omega^2 m_s + i\omega c_s + k_s \right) - \omega^2 m_D \frac{(i\omega c_D + k_D)}{(-\omega^2 m_D + i\omega c_D + k_D)} \right]} \quad (2.64)$$

- Dạng không thứ nguyên:

$$H_S(\omega) = \frac{F_0}{k_s} \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2} + 2\xi_s i \frac{\omega}{\omega_s} \right) - \mu \frac{\omega^2}{\omega_s^2} \frac{\left(2i\xi_D \frac{\omega}{\omega_D} + 1 \right)}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_D^2} + 2i\xi_D \frac{\omega}{\omega_D} \right)} \right]} \quad (2.65)$$

+ $H_S(\omega)$: Hàm ứng xử tần số của hệ làm việc chung kết cấu và TLD.

+ ζ_S và ζ_D : tỷ số cản của kết cấu và tỷ số cản của TLD.

+ $H_0(\omega)$: Hàm ứng xử tần số của TLD khi hệ không cản.

Trong phương trình (2.65) này, dễ dàng nhận thấy rằng phương trình là thể hiện của 2 phần; phần thứ nhất chỉ bao gồm các tham số của kết cấu và kích động, phần thứ 2 gồm các tham số của giảm chấn và kích động.

2.7.2. Hàm ứng xử tần số cho hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD

Dựa vào cách phân tích số này để xây dựng hàm ứng xử tần số cho hệ tương tác giữa kết cấu và nhiều TLD (hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số - MTLD).

Từ phương trình dạng ma trận, dạng triển khai được thành hệ các phương trình sau:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + \sum c_i) \dot{x}_1 - c_1 \dot{x}_2 - \dots - c_n \dot{x}_n + (k_1 + \sum k_i) x_1 - k_1 x_2 - \dots - k_n x_n = F_1 \\ m_1 \ddot{x}_1 - c_1 \dot{x}_2 + c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_2 + k_1 x_1 = 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_2 + c_2 \dot{x}_1 - k_2 x_2 + k_2 x_1 = 0 \\ \dots \\ m_n \ddot{x}_n - c_n \dot{x}_2 + c_n \dot{x}_1 - k_n x_2 + k_n x_1 = 0 \end{cases} \quad (2.81)$$

Từ phương trình (2.81) viết cho thùng chất lỏng thứ i trong hệ MTLD:

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_i - c_i \dot{x}_s + c_i \dot{x}_i - k_i x_s + k_i x_i &= 0 \\ m_i \ddot{x}_i + c_i \dot{x}_i + k_i x_i &= c_i \dot{x}_s + k_i x_s \end{aligned} \quad (2.82)$$

$$H(\omega) = \frac{F_0}{k_s} \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2} + 2\xi_s i \frac{\omega}{\omega_s} \right) - \frac{\omega^2}{\omega_s^2} \sum_{i=1}^N \mu_i \frac{\left(2\xi_i i \frac{\omega}{\omega_i} + 1 \right)}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + 2\xi_i i \frac{\omega}{\omega_i} \right)} \right]} \quad (2.93)$$

$H(\omega)$ được gọi là hàm ứng xử tần số không thứ nguyên của hệ MTLD:

$$H(2\pi f) = \frac{F_0}{k_s} \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{f^2}{f_s^2} + 2\xi_s i \frac{f}{f_s} \right) - \frac{f^2}{f_s^2} \sum_{i=1}^N \mu_i \frac{\left(2\xi_i i \frac{f}{f_i} + 1 \right)}{\left(1 - \frac{f^2}{f_i^2} + 2\xi_i i \frac{f}{f_i} \right)} \right]} \quad (2.94)$$

Hàm ứng xử tần số thiết lập là hàm không thứ nguyên nên các phân tích cho hàm này là đúng với mọi ứng xử cho các biên khác nhau.

CHƯƠNG 3

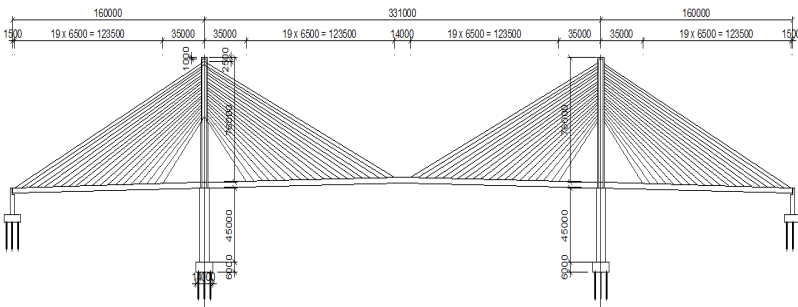
PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA HỆ MTLD SO VỚI STLD VÀ KẾT CẤU KHI KHÔNG CÓ TLD

THÔNG QUA HÀM ỨNG XỬ TẦN SỐ

3.1. LỰA CHỌN SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN

Chọn cầu dây văng có sơ đồ nhịp: 160 + 331 + 160 (m) gồm 3 nhịp liên tục với 2 trụ tháp (Hình 3.1), dầm chủ bằng BTCT DƯỠNG DẠNG 1 hộp đơn hình thang ngược và được nối cứng với trụ tháp. Hai trụ tháp bằng BTCT DƯỠNG DẠNG 1 có chiều cao tính từ mặt dầm chủ là 76m và tính từ mặt cắt bộ móng là 124.5m. Phần trụ tháp dạng cột đơn lòng rỗng có kích thước theo phương ngang cầu là 3m và theo

phương dọc cầu thay đổi từ 5.2 đến 6m. Dây văng sử dụng loại bó cáp tao đơn đặt trong ống nén của hãng Freyssinet, gồm 20 cặp dây văng được bố trí thành 1 mặt phẳng dàn dây dạng rё quạt đối xứng từ mỗi trụ tháp. Góc nghiêng của dây so với phương nằm ngang thay đổi từ 25° đến 48°. Khoảng cách giữa các đầu neo dây tại vị trí trụ tháp là 1.75m và tại các vị trí trên dầm là 6.5m. Dây neo trên cùng cách đỉnh tháp 2.5m



Hình 3.1. Toàn cảnh sơ đồ cầu.

3.2. MÔ HÌNH HÓA KẾT CẤU VÀ LIÊN KẾT TRONG PHẦN MỀM MIDAS CIVIL

3.2.1. Mô hình hóa vật liệu

3.2.2. Mô hình hóa mặt cắt ngang

3.2.3. Mô hình hóa kết cấu

3.2.4. Mô hình hóa liên kết

3.2.5. Mô hình hóa loại kết cấu

3.2.6. Phân tích trị riêng

3.2.7. Xác định tần số dao động riêng của kết cấu

3.3. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ ĐẾN HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN

Các trường hợp đưa ra khảo sát trong luận văn là dựa trên phương pháp suy luận, phân tích logic và thử dần, do đó những trường hợp này được coi là khá hợp lý theo kết quả phân tích, so sánh với trường hợp kết cấu khi có gắn hệ STLD và khi không có giảm chấn.

3.3.1. Các thông số của kết cấu và hệ giảm chấn MTLĐ

Các thông số của kết cấu:

- + Tần số dao động riêng của kết cấu: $f_s = 0,295402$ (Hz)
- + Khối lượng hình thái của kết cấu : $m_s = 835.128$ (T)
- + Độ cứng của kết cấu: $k_s = 2874082$ (N/m)
- + Hệ số cản của kết cấu: $c_s = 51289.28$
- + Tỷ số cản của kết cấu: $\xi_s = 0.0166$

Các thông số của hệ giảm chấn MTLĐ:

- + Chiều dài thùng: $L = 1.4$ (m)
- + Chiều rộng thùng: $B = 0.5$ (m)
- + Độ nhớt của chất lỏng: $\nu = 10^{-6}$ (m²/s)
- + Tổng khối lượng chất lỏng trong thùng: $m_L = 4.17564$ (T)

3.3.2. Các trường hợp khảo sát

Trường hợp 1: Khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng chứa chất lỏng N đến hiệu quả giảm chấn.

Trường hợp 2: Khảo sát ảnh hưởng của bề rộng dải tần số ΔR đến hiệu quả giảm chấn.

Trường hợp 3: Khảo sát ảnh hưởng của tham số điều chỉnh đến hiệu quả giảm chấn.

Trường hợp 4: Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng giữa TLD có tần số trung tâm hoặc các TLD đơn khác với tổng khối lượng chất lỏng trong hệ MTLĐ.

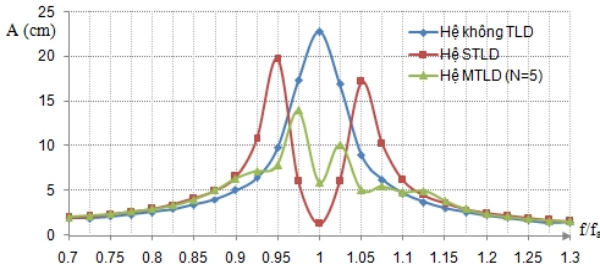
3.4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU KHÍ GẮN MTLĐ SỬ DỤNG PHƯƠNG TRÌNH HÀM ỨNG XỬ TẦN SỐ

3.4.1. Kết quả khảo sát trường hợp 1

Với cùng bề rộng dải tần số (lấy trong khảo sát này là $\Delta R=0,2$) tiến hành khảo sát với số lượng thùng chứa chất lỏng thay đổi lần lượt $N=3, 5, 7, 9, \dots, 21$. Cụ thể các trường hợp khảo sát như sau:

a. Khi số lượng thùng $N=3$

b. Khi số lượng thùng $N=5$



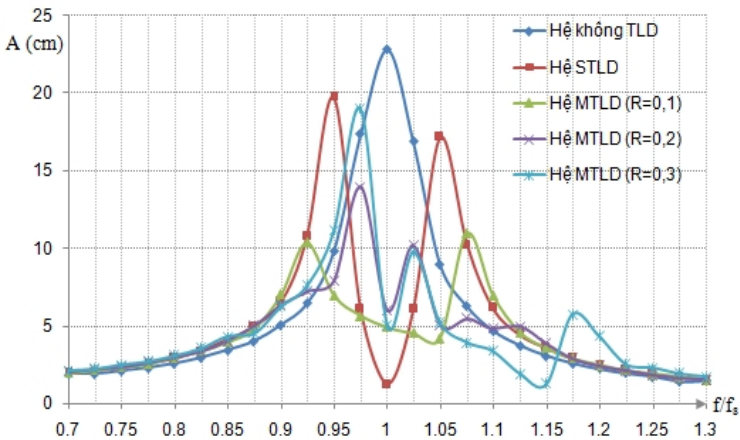
Hình 3.16. Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số hệ MTLĐ

với $N=5, \Delta R = 0,2$

- c. Khi số lượng thùng $N=7$
- d. Khi số lượng thùng $N=9$
- e. Khi số lượng thùng $N=11$
- f. Khi số lượng thùng $N=15$
- g. Khi số lượng thùng $N=21$

3.4.2. Kết quả khảo sát trường hợp 2

- a. Khi số lượng thùng $N=3$
- b. Khi số lượng thùng $N=5$



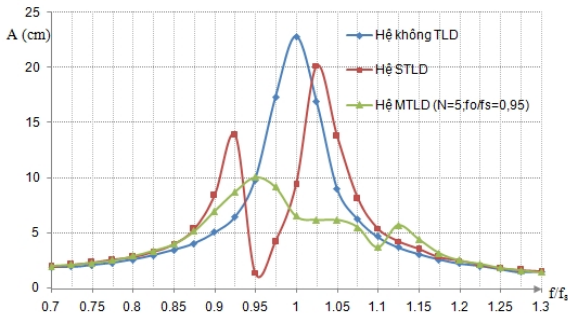
Hình 3.23. Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số
hệ MTLĐ ứng với $N=5$

- c. Khi số lượng thùng $N=7$
- d. Khi số lượng thùng $N=9, 11, 15$
- e. Khi số lượng thùng $N=21$

3.4.3. Kết quả khảo sát trường hợp 3

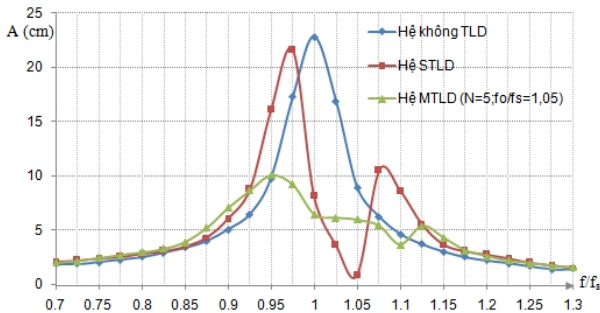
Hiệu quả của hệ MTLĐ khi tỷ số giữa tần số trung tâm của MTLĐ và kết cấu không bằng 1 (tỷ số của 2 tần số này là $f_0/f = 0,95, 1,05$). Các điều kiện ban đầu khác lựa chọn như trường hợp 2 và bề rộng dải tần số lấy là $\Delta R = 0,2$, số lượng thùng TLD đơn của hệ giảm chấn đa tần số MTLĐ trong khảo sát là $N = 5$.

a. Kết quả khảo sát khi $f_0/f = 0.95$



Hình 3.29. Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số của hệ MTLĐ ($N=5$) với tỷ số của 2 tần số $f_0/f_s = 0,95$, bề rộng dải tần số là $\Delta R = 0,2$

b. Kết quả khảo sát khi $f_0/f = 1.05$

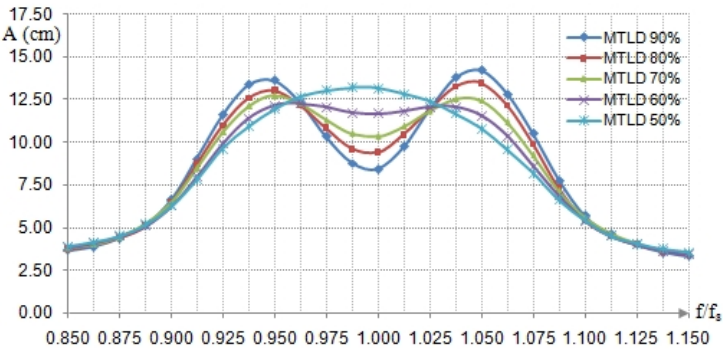


Hình 3.30. Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số của hệ MTLĐ ($N=5$) với tỷ số của 2 tần số $f_0/f_s = 1,05$, bề rộng dải tần số là $\Delta R = 0,2$

3.4.4. Kết quả khảo sát trường hợp 5

Bảng 3.5. Tỷ lệ khối lượng của các TLD đơn trong hệ MTLĐ

STT	Thùng	Tỷ lệ % về khối lượng của mỗi thùng trong hệ MTLĐ				
		a	b	c	d	e
1	m_1	10	10	5	5	2
2	m_2	15	10	10	5	3
3	m_3	50	60	70	80	90
4	m_4	15	10	10	5	3
5	m_5	10	10	5	5	2



Hình 3.31. Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của khối lượng TLD có tần số trung tâm đến ứng xử của kết cấu

Kết quả chỉ ra rằng, khối lượng của TLD có tần số trung tâm tăng lên thì hiệu quả của MTLĐ tăng lên. Ứng với giá trị nhất định nào đó thì đồ thị của hệ đi khá phẳng, điều này chứng tỏ ứng xử của kết cấu trở nên đáp ứng tốt với dải rộng tần số kích động. Khối lượng của TLD gần TLD có tần số trung tâm sẽ quyết định mối tương quan giữa giá trị 2 đỉnh của đồ thị (bằng nhau hoặc cao hơn hay thấp hơn). Hệ STLD với đồ thị có 2 đỉnh bằng nhau thể hiện các tham số thiết

kết giảm chấn là hợp lý và hiệu quả giảm dao động cho kết cấu của giảm chấn là tốt). Các TLD có tần số càng xa TLD có tần số trung tâm càng ít ảnh hưởng đến hiệu quả giảm chấn (đường đồ thị không thay đổi nhiều khi giá trị khối lượng của các TLD này thay đổi).

3.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Việc khảo sát các trường hợp cụ thể ở trên cho kết quả đạt được đúng với mục tiêu nghiên cứu của luận văn. Cụ thể như sau:

- Hàm ứng xử tần số của hệ tương tác giữa kết cấu và hệ giảm chấn đa tần số MTLD đã được thiết lập trên cơ sở áp dụng phương trình Euler – Lagrang cho thiết lập phương trình dao động của hệ.

- Đề xuất các trường hợp khảo sát hàm ứng xử tần số thể hiện ứng xử của kết cấu khi các tham số của giảm chấn thay đổi mà cụ thể là số lượng thùng chứa chất lỏng để tạo ra các tần số khác nhau trong hệ giảm chấn đa tần số MTLD, bề rộng dải tần số, tỷ số khối lượng. Các trường hợp khảo sát được so sánh đánh giá với trường hợp hệ kết cấu không gắn giảm chấn chất lỏng TLD và gắn giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD.

- Kết quả khảo sát các trường hợp đã cho thấy rằng hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số chỉ có hiệu quả giảm chấn ứng với giá trị nhất định của một số tham số giảm chấn. Cụ thể: số lượng thùng TLD là $N= 5-15$, bề rộng dải tần số là $\Delta R= 0.2-0.3$, độ chênh tần số giữa các thùng TLD đơn lẻ trong hệ là $\beta=0.01-0.02$.

- Khối lượng của giảm chấn chất lỏng có tần số trung tâm trong hệ giảm chấn đa tần số có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả của giảm chấn. Hiệu quả giảm chấn tăng khi tỷ lệ khối lượng này tăng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Đề tài đã nghiên cứu ứng dụng hệ giảm chấn dùng chất lỏng TLD trong điều khiển dao động cho tháp cầu dây văng.

Nghiên cứu lý thuyết về hệ thống giảm chấn chất lỏng TLD, xem xét các đặc tính và cơ chế tạo lực cản làm giảm dao động của kết cấu. Khẳng định tính khả thi của việc áp dụng giảm chấn chất lỏng TLD nhằm giảm dao động cho các tháp cầu dây dưới tác động động lực học do gió, động đất và hoạt tải.

Phân tích được ảnh hưởng của các tham số của hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) đến hiệu quả giảm dao động cho kết cấu khi so sánh với hệ giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD). Kết quả phân tích chỉ ra rằng hiệu quả của giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) cho kết cấu dạng tháp là tốt hơn giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD với giá trị nhất định của các tham số trong hệ.

Xây dựng hàm ứng xử tần số để xác định được ảnh hưởng của các tham số đến hiệu quả giảm chấn như: số lượng thùng giảm chấn chất lỏng N , bề rộng dải tần số ΔR , và tỷ số tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu.

Khi khảo sát các trường hợp ảnh hưởng của bề rộng dải tần số đối với hiệu quả giảm dao động của giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) có thể thấy rằng nếu số lượng của TLD đơn là đủ lớn và bề rộng dải tần số là nhỏ ($\Delta R = 0,1$), chênh tần số giữa các TLD đơn

nhỏ thì hiệu quả giảm dao động của MTLĐ là tương tự như SLTD. Mặt khác, khi số lượng của các TLD đơn là nhỏ và bề rộng dải tần số là đủ lớn ($\Delta R = 0,3$) thì hiệu quả của MTLĐ là tốt hơn của hệ SLTD. Do vậy, hiệu quả của hệ MTLĐ chỉ có thể đạt được tốt nhất ứng với giá trị nhất định nào đó của số lượng TLD đơn và bề rộng dải tần số phù hợp. Giá trị khảo sát kiến nghị là bề rộng dải tần số là $0,2 - 0,3$ và độ chênh tần số giữa các thùng TLD đơn lẻ là $\beta = 0,01 - 0,02$.

Kiến nghị về hướng nghiên cứu tiếp theo

Bài toán đang nghiên cứu có hệ kết cấu là 1 bậc tự do, các giảm chấn mắc song song đặt trên kết cấu là đa bậc tự do chịu tác động của hàm kích thích dạng điều hòa – là dạng mà phương trình dao động và các bài toán cơ bản có thể dễ dàng xác định được chính xác nghiệm. Hướng nghiên cứu tiếp theo đề xuất nghiên cứu khảo sát tương tác của:

- Hệ mô hình tương tác giữa kết cấu và MTLĐ chịu tác động của 1 hàm kích thích ngẫu nhiên.

- Hệ mô hình tương tác của kết cấu đa bậc tự do với hệ MTLĐ chịu tác động của kích thích ngẫu nhiên.

- Xây dựng mô hình tính toán đề xuất cho hướng nghiên cứu là các thùng TLD đơn trong hệ MTLĐ đặt nối tiếp vào kết cấu.