PHẦN MỞ ĐẦU

Ảnh hưởng của các tác động động học như gió, động đất, hoạt tải xe được xem xét trong thiết kế các kết cấu nhạy cảm như các tòa nhà cao tầng, tháp hàng không, và cầu dây văng, dây võng ngày càng nhiều. Thiết bị giảm chấn là một trong những giải pháp tối ưu cho việc điều chỉnh giảm dao động cho kết cấu hiện nay.Luận án chỉ ra có 2 loại giảm chấn chất lỏng(viết tắt là TLD) cơ bản là: Loại chỉ bao gồm 1 hoặc nhiều thùng chứa chất lỏng có cùng tần số dao động riênggọi tắt là 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 tắt là giảm chấn chất lỏng đa tần số (viết tắt là *MTLD*).

1. *Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài*

Giảm dao động có hại cho các kết cấu, tăng hiệu quả hoạt động của kết cấu là mục đích nghiên cứu của các kỹ sư khi thiết kế.Để theo kịp với trình độ phát triển khoa học công nghệ, làm sáng tỏ một hệ thiết bị mới và khả năng cóthể áp dụng tại Việt Nam – hệ TLD, tạo tài liệu tốt cho các nhà nghiên cứu, các kỹ sư trong việc thiết kế TLD nhằm giảm dao động cho kết cấu dưới tác động động lực học là rất cần thiết. Đề tài đề cập tới các vấn đề nghiên cứu về lý thuyết và ứng dụng hệ giảm chấn dùng chất lỏng (TLD) cho cầu dây văng phù hợp với điều kiện tự nhiên cũng như kinh tế xã hội ở Việt Nam vànhằm mục đích làm sáng tỏ hơn nữa khả năng có thể tính toán, thiết kế và áp dụng hệ giảm chấn chất lỏng TLD cho kết cấu công trình tại Việt Nam.

2. *Mục tiêu và tư tưởng chính của luận án*

Nghiên cứu chi tiết về hệ giảm chấn chất lỏng trong luận ánvới các mục tiêu cụ thể như sau:

- Nghiên cứu lý thuyết về hệ thống giảm chấn chất lỏng TLD. Các đặc tính của STLD và MTLD và cơ chế tạo lực cản làm giảm dao động cho kết cấu.
- Nghiên cứu thiết lập hàm ứng xử tần số phản ánh ứng xử của kết cấu theo tỷ lệ tần số kích thích với tần số kết cấu trong các trường hợp kết cấu lắp đặt STLD và MTLD.
- So sánh hiệu quả của STLD và MTLD trong giảm dao động cho kết cấu.
- Xây dựng và tiến hành thí nghiệm trên mô hình ví dụ để đối chiếu với kết quả nghiên cứu lý thuyết.
- Xác định được một số tham số hợp lý cho MTLD nhằm tăng hiệu quả giảm dao động cho hệ.
- Áp dụng các nghiên cứu về MTLD tính toán kiểm chứng cho sơ đồ công trình cầu Bãi cháy. So sánh hiệu quả của hệ thiết kế mới với hệ giảm chấn hiện có tại công trình.

3. *Đối tượng, phạm vi nghiên cứu*

Phương pháp nghiên cứu là sự kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, phân tích lý thuyết và đối chiếu kết quả với thực tế.Phân tích lý thuyết chủ yếu dựa

trên lý thuyết động học kết cấu.Kết quả nghiên cứu nhằm đánh giá giá trị của mô hình tương tác giữa kết cấu và MTLD trong tiến trình phân tích lý thuyết và có đối chứng thông qua thí nghiệm mô hình trên bàn rung.Tính toán kiểm chứng MTLD chocông trình cầu Bãi Cháy.

CHƯƠNG 1:
TỔNG QUAN VỀ CẦU DÂY VĂNG VÀ BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN DAO ĐỘNG SỬ DỤNG THIẾT BỊ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG

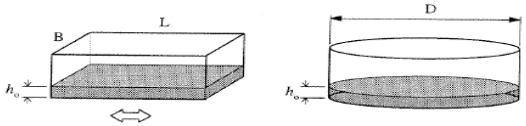
Cầu dây văng là một hệ làm việc phức tạp bao gồm sự tác động chịu lực qua lại của các bộ phận mà chủ yếu là: tháp cầu, dây văng và dầm.Kết cấu này rất nhạy cảm với các tác động động lực học như hoạt tải xe, gió và động đất. Trong cầu dây văng Tháp đóng một vai trò rất quan trọng trong sự làm việc của cầu, với chiều cao tháp cầu khá lớn, kết cấu thanh mảnh, 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, 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. Khi xét tháp không có sự liên kết với dầm và dây văng, tháp được xem như một cột ngàm mà biến dạng được thể hiện theo các thành phần của chuyển dịch. Và ứng với mỗi dạng dao động (mode shape) sẽ thể hiện chuyển dịch của kết cấu theo hướng nào đó đang xem xét. Do vậy mà khi xem xét kết cấu dao động theo phương nào thì ảnh hưởng của các tác động theo phương khác đến chuyển dịch theo phương xem xét là nhỏ và có thể bỏ qua [72].

Cụ thể, trong cầu dây văng, khi xét dao động của tháp theo phương ngang cầu chịu tác động của gió ngang, thì ảnh hưởng của yếu tố tháp khi có và không liên kết với dầm và dây trong xem xét là không lớn và có thể được bỏ qua. Vì lý do này mà khi xem xét dao động của tháp cầu thì thường xét trường hợp làm việc bất lợi hơn là khi tháp cầu không có các liên kết với cáp văng và dầm. Lúc này tháp được sơ đồ như một cột một đầu ngàm, một đầu tự do.

Bài toán điều khiển dao động cho kết cấu dưới các tác động đều có thể đưa về bài toán cơ bản khi phân tích ứng xử của kết cấu chịu tác động kích động của một hàm điều hòa khi dùng biến đổi Fourier.

Hệ giảm chấn chất lỏng được biết đến với nhiều nghiên cứu về cả đặc điểm cấu tạo, nguyên lý làm việc và hiệu quả cũng như khả năng áp dụng. Tuy nhiên, các nghiên cứu và ứng dụng từ trước tới nay đều tập trung cho loại STLD – loại mà được định nghĩa là trên cùng một hệ kết cấu có gắn n TLD có cùng kích thước, lượng nước và khối lượng, hay nói cách khác là cùng gây ra 1 tần số dao động. Trong trường hợp các TLD không có cùng tần số dao động riêng (ví dụ các bình có kích thước giống nhau nhưng chiều cao mực nước được điều chỉnh để khác nhau) sẽ hình thành lên MTLD. Vậy cần thiết phải xem xét cụ

thể hiệu quả giảm chấn cho kết cấu khi sử dụng MTLD có so sánh với STLD.
Giảm chấn chất lỏng TLD sử dụng chuyển động văng té của chất lỏng trong kết cấu để làm tiêu tan các dao động của kết cấu dưới tác động của gió, động đất và hoạt tải..v.v…
Áp lực chất lỏng trong thùng chứa chống lại ngoại lực tác dụng lên kết cấu gồm hai phần là tác dụng tĩnh và tác dụng động. 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, loại và chiều sâu chất lỏng trong thùng, số lượng thùng…, tỷ số chiều sâu chất lỏng cần được phân tích trên cơ sở sự tương tác giữa hệ TLD và kết cấu.



Chiều dài thùng chứa được lựa chọn để sao cho tạo ra chuyển động của chất lỏng trong thùng chứa là dạng chuyển động của sóng nước nông, cụ thể tỷ lệ h_0 /L như sau:

Bảng 2.1. Xác định kiểu loại sóng trong thùng chứa

h_0 /L	1/20 – 1/25		½
Loại sóng	Sóng dài (Sóng nước rất nông)	Sóng nước nông	Sóng nước sâu (sóng mặt)
các tham số điều khiển	h, H/L	H/h, H/L	H/L, L

<u>Hướng nghiên cứu và những nội dung chính của luận án</u>

Từ các phân tích ở trên, hướng nghiên cứu của luận án được xác định bao gồm các nội dung sau:

- Nghiên cứu lý thuyết về mô hình đa bậc tự do cho tính toán tương tác giữa MTLD và kết cấu.
- Xây dựng hàm ứng xử tần số phản ánh ứng xử của kết cấu có gắn TLD theo tỷ số giữa tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu.
- Nghiên cứu đề xuất các tham số hợp lý tăng hiệu quả giảm chấn của MTLD,đặc biệt nghiên cứu sự tương tác về khối lượng giữa các TLD đơn trong MTLD với tổng khối lượng chất lỏng và ảnh hưởng của tỷ số này đến hiệu quả giảm dao động cho kết cấu.
- So sánh hiệu quả của STLD và MTLD trong việc giảm dao động cho kết cấu.
- Thực hiện thí nghiệm trên mô hình nhằm kiểm chứng một phần các phân tích lý thuyết đã thực hiện. So sánh đường thực nghiệm và lý thuyết trong mối quan hệ giữa ứng xử của kết cấu và tỷ số giữa tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu.

– Ứng dụngtính toán kiểm chứng MTLD lắp đặt cho cầu Bãi Cháy trên cơ sở các phân tích chi tiết STLD đang được lắp đặt tại côngtrình cầu. Việc ứng dụng bao gồm cả nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí lắp đặt đến hiệu quả giảm chấn của TLD.

CHƯƠNG 2
CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN GIẢM CHẤNCHẤT LỎNG VÀ HỆ TƯƠNG TÁC GIỮA KẾT CẤU VỚIGIẢM CHẤN CHẤT LỎNG (TLD)

Áp lực chất lỏng trong TLD chống lại ngoại lực tác dụng lên kết cấu gồm hai phần là tác dụng tĩnh và tác dụng động. Với các kết cấu nhẹ, dẻo và tính cản yếu như là tòa nhà cao tầng, các tháp cầu có chiều dài nhịp lớn, dao động do gió, động đất và các nhiễu loạn động học khác có thể gây ra các vấn đề khai thác hoặc an toàn cho kết cấu. Việc thiết lập các thiết bị bị động bao gồm các cơ cấu cản cũng là một lời giải và trở nên phổ biến để làm tiêu tan các dao động không mong muốn (Fujino 1990[109]).

Cơ sở lý thuyết cho tính toán hoạt động của chất lỏng bên trong giảm chấn chất lỏng là 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, tính cản và sự phân tán có liên quan,.v.v…

Cơ chế tạo lực cản do chất lỏng chuyển động văng té trong TLD:

Lực cản trong TLD hình thành do chuyển động văng té của chất lỏng và là một tham số có ý nghĩa trong việc thiết kế hệ giảm chấn chất lỏng. Tham số này hình thành do ma sát giữa chất lỏng tại lớp biên thùng và bề mặt tự do của chất lỏng. Kết cấu với TLD có tính cản thấp sẽ có ứng xử lớn tại tần số kích động nào đó. Khi tính cản của chất lỏng đạt giá trị tối ưu trong TLD, dao động của kết cấu có thể bị phân tán trong một dải tần số rộng.

Như vậy, tần số tự nhiên của chất lỏng văng té trong một thùng hình chữ nhật sẽ là:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2n-1}{2a}\pi g \tanh(\frac{2n-1}{2a}\pi h)} \qquad (\pi = 1,2.....)$$

Trong đó, n biểu thị các mode khác nhau của sự văng té chất lỏng. Tần số dao động tự nhiên cơ sở (n=1) là:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{2a}\tanh(\frac{\pi h}{2a})}$$

Công thức trên thể hiện cho ta thấy khi biên độ kích động cơ sở tăng thì:

- *Tần số cộng hưởng tăng*
- *Giá trị lớn nhất của chiều cao sóng lớn nhất tăng cùng với sự tăng của tần số*

Sun và các cộng sự (1992) đã nhận thấy tính phi tuyến của TLD phụ phuộc vào

tỷ số của chiều sâu chất lỏng trong TLD và chiều dài thùng. Tính cản của chuyển động văng té của nước nông là khó có thể xác định theo phép giải tích tích phân, đặc biệt với trường hợp sóng vỡ. Áp lực p có thể được thể hiện dưới dạng của công thức (2.32) là:

$$\frac{1}{\rho}(\rho.\rho_0) = g\left(\eta\frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} - z\right)$$

Khi chất lỏng văng té với biên độ sóng lớn, tần số cộng hưởng khá xa với tần số tự nhiên do tính phi tuyến của sự văng té.

Tính cản của chất lỏng văng té trong TLD ảnh hưởng đến hiệu quả và là tham số quan trọng trong thiết kế giảm chấn.Kết cấu với TLD tính cản thấp có ứng xử lớn tại tần số kích động nào đó.Khi tính cản của chất lỏng trong TLD tối ưu, dao động của kết cấu có thể phân tán trong một dải tần số rộng.

Với TLD sử dụng nước thường, tính cản của chất lỏng văng té do ma sát tại lớp biên và bề mặt chuyển động tự do của chất lỏng thấp.

Hệ số cản chịu ảnh hưởng bởi kích thước thùng a và chiều sâu chất lỏng ε. Để hiểu đơn giản, tỷ số cản ξ_w của chất lỏng văng té được xác định trên cơ sở lý thuyết sóng tuyến tính cụ thể được thể hiện theo L. Sun [109] là:

$$\xi_w = \frac{\lambda}{2\omega_w}$$

$$\xi_w = \frac{1}{\eta+h}\frac{\sqrt{2}}{2}\frac{\sqrt{wv}}{2\omega_w}\left(1+\frac{2h}{b}+S\right)$$

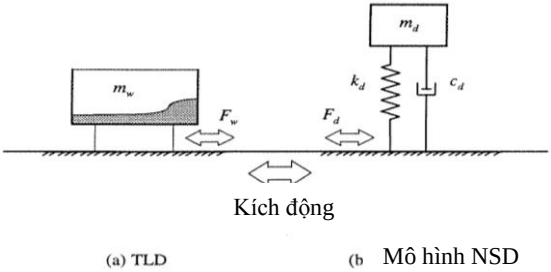
Đặc trưng phi tuyến của TLD là khá phức tạp và không thể bỏ qua trong thiết kế TLD để giảm dao động cho kết cấu. Để hiểu rõ việc có thể sử dụng mô hình TMD tương đương của TLD trong tính toán, cần thiết phải có các khảo sát, thậm chí thí nghiệm trên thiết bị bàn rung.

Tần số tự nhiên của chất lỏng văng té 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, chuyển động chất lỏng trong TLD là chuyển động sóng mặt (lý thuyết sóng nước nông),chỉ một phần chất lỏng tham gia chuyển động và tính cản của chất lỏng chuyển động là nhỏ.

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). Có nhiều phương pháp mô phỏng sự làm việc tương tác giữa kết cấu và hệ TLD. Các mô hình này nhằm xác định ra lực cắt cơ sở tại biên thùng do tác động văng té của chất lỏng. Có 2 mô hình đã được áp dụng tính toán trong nhiều nghiên cứu như là: mô hình NSD (mô hình phi tuyến về độ cứng và tính cản) - mô hình TMD tương đương của TLD, mô hình RCM - mô hình mô phỏng số dòng chất lỏng tính toán [33].

Mô hình TMD tương đương phát triển trên cơ sở kết hợp mô phỏng số của hệ

TLD theo hai phương và các kết quả thí nghiệm (mô hình NSD – hình 2.2). Mô hình NSD là mô hình có sự kết hợp của mô hình giảm chấn khối lượng với độ cứng và tính cản phi tuyến để thể hiện các đặc trưng phi tuyến của TLD do hoạt động chất lỏng chuyển động bên trong các thùng chứa của TLD.



Hình 2.1: Mô hình TMD tương đương của TLD (mô hình NSD)

Mô hình TMD tương đương của TLD là mô hình mà có sự kết hợp chặt chẽ với các đặc trưng độ cứng và tính cản phi tuyến được phát triển trên cơ sở các kết quả thí nghiệm. Khi nước chuyển động văng té, khối lượng nước tác động trở lại đối với hoạt động của kết cấu theo cách tương tự như khối lượng của TMD. TLD thể hiện các đặc trưng cản và độ cứng mang tính kế thừa do chuyển động văng té của nó gây ra. Khi tính cản và độ cứng của TLD được xác định, thì TLD có thể được mô hình như hệ khối lượng đơn bậc tự do có độ cứng và cản. Điều này có nghĩa là hệ tương tác giữa TLD và kết cấu có hai bậc tự do, một bậc tự do là kết cấu và bậc tự do còn lại là TLD (Wakahara, 1993 [97]).

Mô hình thứ hai là mô hình dòng chất lỏng trên cơ sở phương trình sóng nước nông với các tính chất đặc trưng của chuyển động sóng nước khi sử dụng phương pháp lựa chọn ngẫu nhiên (mô hình RCM) là phương pháp được đề xuất bởi Gardarsson và Yeh (1994) [75].

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 rõ đặc tính phi tuyến của giảm chấn chất lỏng khi được áp dụng.

Dưới tác động của lực kích động, khối lượng trong giảm chấn khối lượng TMD chuyển động, hệ tương tác giữa kết cấu và TMD là tuyến tính.Trong khi đó nếu coi chất lỏng trong TLD như một khối lượng chuyển động thì cơ cấu hoạt động trong TLD không khác gì TMD.Tuy nhiên, không giống như TMD, chuyển động chất lỏng trong TLD mang đặc tính phi tuyến mạnh, chất lỏng bên trong TLD tham gia chuyển động với phương trình sóng nước khác nhau khi biên độ kích động khác nhau. Do vậy mà khi sử dụng TMD tương đươngthay cho TLD [56], hệ được đặc trưng bởi 3 tham số: khối lượng có hiệu (khối lượng tương đương), tần số và tính cản. Khối lượng có hiệu, tần số và tính cản không phải

là tham số tuyến tính, mà là một hàm mang đặc trưng phi tuyến. Hàm này phụ thuộc vào chuyển động sóng trong TLD, biên độ, tần số của lực kích thích và hình dạng của thùng chứa TLD.

Khi biên độ kích động nhỏ, chuyển động chất lỏng trong TLD là chuyển động sóng mặt (lý thuyết sóng nước nông).Điều này có nghĩa là chỉ một phần chất lỏng tham gia chuyển động và tính cản của chất lỏng chuyển động là nhỏ.

Giá trị của tính cản tăng cùng với sự tăng của phần chất lỏng tham gia chuyển động bên trong thùng chứa. Khi biên độ kích động tăng, số lớp khối lượng chất lỏng tham gia chuyển động lớn và tiến gần đến tổng khối lượng của chất lỏng bên trong thùng TLD.Tuy nhiên, khi tổng khối lượng chuyển động thì hoạt động của TLD là khác với TMD. Do vậy cần phải xem xét hệ TMD tương đương dưới tác động của kích thích biên độ lớn. Tính cản của chuyển động chất lỏng sẽ tăng khi biên độ sóng tăng dưới tác động của kích thích biên độ lớn. Đặc tính phi tuyến của tính cản của chất lỏng xảy ra tại lớp biên và bề mặt chất lỏng và sóng vỡ (nếu xuất hiện), sẽ gây ra hiện tượng cản phi tuyến. Sóng vỡ xuất hiện, sự phân tán năng lượng xảy ra và do vậy tỷ số cản trở nên lớn và hiệu quả của TLD giảm. Mô hình tương tác giữa TMD tương đương và kết cấu sẽ chỉ có nghiệm là gần đúng [62].

Các tham số cơ bản của mô hình TMD tương đương thể hiện các đặc tính của giảm chấn chấn lỏng gồm:

Tần số dao động riêng của TLD f_{TLD} xác định theo công thức

$$f_{TLD} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{L}\tanh(\pi\frac{h_0}{L})}$$ đối với thùng chứa hình chữa nhật

Và $$f_{TLD} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1.17\pi g}{D}\tanh(\frac{1.17\pi h_0}{D})}$$ đối với thùng chứa hình tròn.

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

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

$$\xi_D = \frac{1}{h}\frac{1}{2}\frac{\sqrt{w\upsilon}\left(1+\frac{2h}{b}+S\right)}{2\sqrt{2}(\eta+h)w_D}$$ Sun (1992) [109]

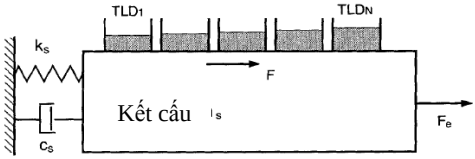
CHƯƠNG 3

PHÂN TÍCHHIỆU QUẢ GIẢM DAO ĐỘNG CHO THÁP CẦU DÂY VĂNG KHI SỬ DỤNG HÀM ỨNG XỬ TẦN SỐ THIẾT LẬP CHO CÁC HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG.

Hệ tương tác giữa giảm chấn và kết cấu trở thành bài toán quan trọng với việc thiết lập phương trình và xây dựng 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) để có thể đánh giá hiệu quả giảm dao

động cho kết cấu của hệ TLD.

Với hệ đa giảm chấn chất lỏng (MTLD), giả thiết tính các thùng TLD đơn lẻ đặt song song với nhau trên kết cấu.



Hình 3.1: Mô hình kết cấu và hệ đa giảm chấn chất lỏng(MTLD)

Mỗi thùng TLD đơn lẻ được đổ một lượng chất lỏng khác nhau sao cho tạo ra tần số dao động riêng khác nhauf_i. Tần số tự nhiên của mỗi TLD:

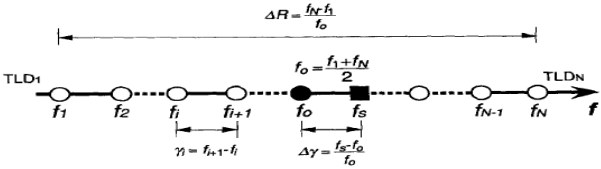
$$f_i = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{2a} tanh\left(\frac{\pi h_i}{2a}\right)} \tag{3.1}$$

Tần số trung tâm của hệ f_0, tần số này được xác định là tần số trung bình của hệ (tần số dao động riêng của hệ MTLD)[118]:

$$f_o = \frac{f_N + f_1}{2} \tag{3.2}$$

Độ chênh tần số dao động giữa các thùng chất lỏng TLD riêng rẽ trong hệ MTLD được thiết kế để tạo khoảng tần số cân bằng,

$$\beta i = f_{i+1} - f_i = (f_N - f_1)/(N-1) = \beta. \tag{3.3}$$



Hình 3.2: Mô hình đa bậc tự do mô phỏng cho các TLD đơn lẻ trong hệ MTLD

Bề rộng dải tần số là khoảng tần số của các thùng TLD trong hệ MTLD

$$\Delta R = \frac{f_N - f_1}{f_0} \tag{3.4}$$

Trong một số trường hợp tần số dao động của hệ MTLD(hay tần số trung tâm của hệ) hoặc tần số của mỗi thùng TLD đơn lẻ được tạo ra không như mong muốn ban đầu, cần thiết có một hệ số điều chỉnh để xét đến hiệu quả của hệ trong các trường hợp này.Hệ số điều chỉnh này là:

$$\Delta\gamma = \frac{f_s - f_o}{f_o} \tag{3.5}$$

Hệ làm việc chung giữa TLD và kết cấu là tuyến tính. Tính chất phi tuyến của hoạt động chất lỏng trong các thùng TLD được chứng minh trong nhiều nghiên cứu là được thay thế bằng độ cứng và tính cản mang tính chất phi tuyến của hệ TMD tương đương. Cụ thể: Tần số dao động riêng của hệ giảm chấn được tạo ra nhờ chọn chiều sâu chất lỏng sao cho chuyển động sóng nước là dạng sóng

nước nông. Chiều sâu chất lỏng h lấy lớn hơn 1/20 và nhỏ hớn ½ sao cho tạo ra được tần số dao động riêng của giảm chấn xấp xỉ với tần số dao động riêng của kết cấu, f_s.theo công thức của Sun [93] có:

$$\text{với } f_D = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{2a} tanh\left(\frac{\pi h_0}{2a}\right)}$$

Và $k_D = m_D w_D^2 = (2\pi)^2 m_D f_D^2$ nên có

$$k_D = m_D\left(\frac{\pi g}{2a} tanh\left(\frac{\pi h_0}{2a}\right)\right)$$

Tham số cản của TLD, ξ_D được xác định theo công thức của Fujino (1993):

$$\xi_D = \frac{1}{h_0}\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\upsilon}{\pi f_D}}\left(1 + \frac{h_0}{b}\right)$$

Trong đó: f_D = tấn số tự nhiên của TLD; h và υ = chiều sâu chất lỏng và độ nhớt động của chất lỏng (Sun 1991). Chiều dào thùng chứa chất lỏng L = 2a, chiều rộng thùng chứa là b, g là gia tốc trọng trường, và các ký hiệu khác m_D, ξ_D, k_D, f_D lần lượt là khối lượng, tham số cản, độ cứng và tần số dao động riêng của TLD.

Xây dựng hàm ứng xử tần số cho hệ tương tác giữa kết cấu và hệ đa giảm chấn chất lỏng MTLD.

Từ phương trình động học:

$$\begin{bmatrix} m_S & 0 \\ 0 & m_D \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_S \\ \ddot{x}_D \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_S + c_D & -c_D \\ -c_D & c_D \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_S \\ \dot{x}_D \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_S + k_D & -k_D \\ -k_D & k_D \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_S \\ x_D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t) \\ 0 \end{Bmatrix}$$

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:

$$H_S(w) = \frac{F_0}{\left[(-w^2 m_S + iwc_S + k_S) - w^2 m_D \frac{(iwc_D + k_D)}{(-w^2 m_D + iwc_D + k_D)}\right]} \tag{3.6}$$

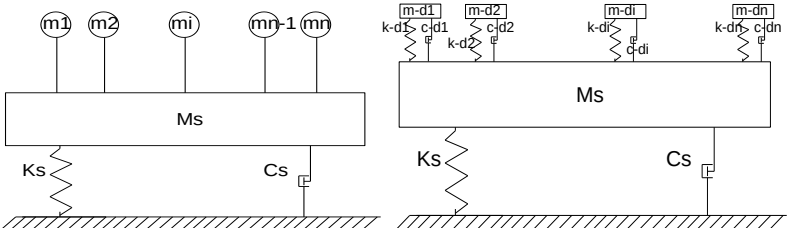
- Dạng không thứ nguyên:

$$\mathbf{H_S(w)} = \frac{\mathbf{F_0}}{\mathbf{k_s}}\frac{\mathbf{1}}{\left[\left(\mathbf{1} - \frac{\mathbf{w^2}}{\mathbf{w_s^2}} + \mathbf{2\xi_s i}\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{w_s}}\right) - \boldsymbol{\mu}\frac{\mathbf{w^2}}{\mathbf{w_s^2}}\frac{\left(\mathbf{2i\xi_D}\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{w_D}} + \mathbf{1}\right)}{\left(\mathbf{1} - \frac{\mathbf{w^2}}{\mathbf{w_D^2}} + \mathbf{2i\xi_D}\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{w_D}}\right)}\right]} \tag{3.7}$$

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

Trên cơ sở cách thức biến đổi đại số khi thiết lập lại hàm ứng xử tần số cho hệ đơn giảm chấn chất lỏnghàm ứng xử tần số cho hệ tương tác giữa kết cấu và nhiều TLD khi coi kết cấu là một bậc tự do và mỗi TLD đơn lẻ trong

hệ MTLD là một bậc tự do, cụ thể như sau:
Tần số trung tâm của các TLD trong hệ MTLD là $w_0 = (w_{max} + w_{min})/2$
Bề rộng dải tần số $\Delta R = (w_{max} - w_{min})/w_0 = 0.2$.Và $\beta_i = w_{i+1} - w_i = const$



Hình 3.1: mô hình tính toán đề xuất cho hệ MTLD

Tác giả tập trung xây dựng phương trình động học cho hệ làm việc chung kết cấu – và MTLD dùng phương trình Lagrange có:
Động năng của hệ đa bậc tự do:

$$T = \frac{1}{2} m_s \dot{x}_s^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} m_i \dot{x}_i^2 \tag{3.8}$$

Thế năng của hệ đa bậc tự do:

$$\pi = \frac{1}{2} k_s x_s^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} k_i (x_i - x_s)^2 \tag{3.9}$$

Hao tán của hệ được tính là:

$$\varphi = \frac{1}{2} c_s \dot{x}_s^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} c_i (\dot{x}_i - \dot{x}_s)^2 \tag{3.10}$$

Phương trình viết dưới dạng matrận :

$$\begin{bmatrix} m_s & & & & & \\ & m_1 & & & & \\ & & m_2 & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & m_{n-1} & \\ & & & & & m_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_i \\ \\ \ddot{x}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s + \sum c_i & -c_1 & -c_2 & & & -c_n \\ -c_1 & c_1 & 0 & & & \\ -c_2 & 0 & c_2 & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & c_{n-1} & \\ -c_n & & & & & c_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_i \\ \\ \dot{x}_n \end{Bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} k_s + \sum k_i & -k_1 & -k_2 & & & -k_n \\ -k_1 & k_1 & & & & \\ -k_2 & & k_2 & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & k_{n-1} & \\ -k_n & & & & & k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_s \\ x_1 \\ x_i \\ \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ 0 \\ \\ \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Từ phương trình ma trận, dạng triển khai được viết thành hệ các phương trình (3.25)sau:

$$\begin{cases} m_s\ddot{x}_s + (C_s + \sum C_i)\dot{x}_s - c_1\dot{x}_1 - \cdots - c_i\dot{x}_i \ldots - c_n\dot{x}_n + (k_s + \sum k_i)\, x_s - k_1x_1 - \cdots - k_ix_i \\ m_1\ddot{x}_1 - C_1\dot{x}_s + c_1\dot{x}_1 - k_1x_s + k_1x_1 = 0 \\ m_2\ddot{x}_2 - C_2\dot{x}_s + c_2\dot{x}_2 - k_2x_s + k_2x_2 = 0 \\ \\ m_n\ddot{x}_n - c_n\dot{x}_s + c_n\dot{x}_n - k_nx_s + k_nx_n = 0 \end{cases} \quad 3.1$$

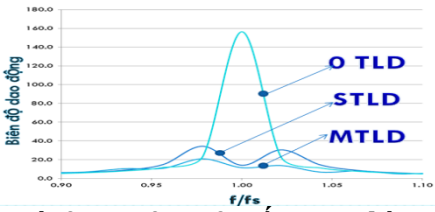
$$H(w) = \frac{F_0}{k_s\left[\left(-\frac{w^2}{w_s^2} + 2\xi_S i\frac{w}{w_s} + 1\right) - \sum_{i=1}^{N}\frac{w^2}{w_s^2}\mu_i\frac{\left(2\xi_i i\frac{w_i}{w} + \frac{w_i^2}{w^2}\right)}{\left(-1 + 2\xi_i i\frac{w_i}{w} + \frac{w_i^2}{w^2}\right)}\right]}$$

$$H(w) = \frac{F_0}{k_s}\frac{1}{\left[\left(1 - \frac{w^2}{w_s^2} + 2\xi_S i\frac{w}{w_s}\right) - \frac{w^2}{w_s^2}\sum_{i=1}^{N}\mu_i\frac{\left(2\xi_i i\frac{w}{w_i} + 1\right)}{\left(1 - \frac{w^2}{w_i^2} + 2\xi_i i\frac{w}{w_i}\right)}\right]} \quad (3.13)$$

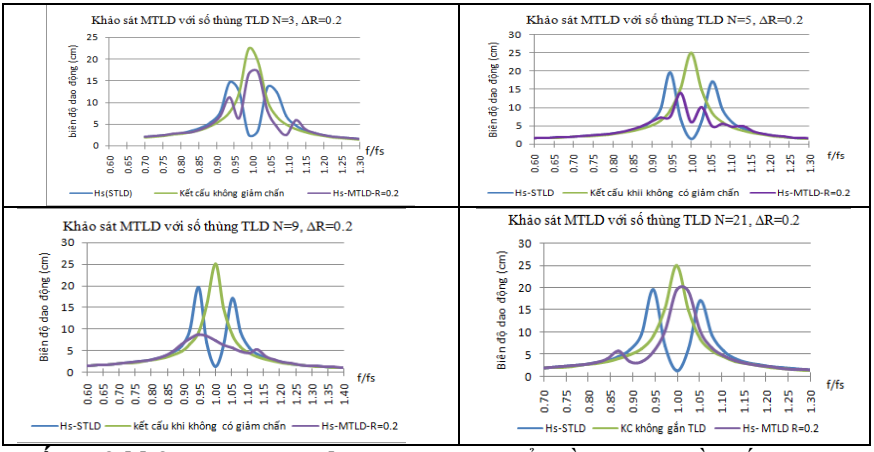
H(w) được gọi là hàm ứng xử tần sốkhông thứ nguyên của hệ MTLD:

Phân tích, đánh giá hiệu quả của hệ MTLD so vớiSTLD và kết cấu khi không có TLD thông qua hàm ứng xử tần số thiết lập trong các trường hợp sau:

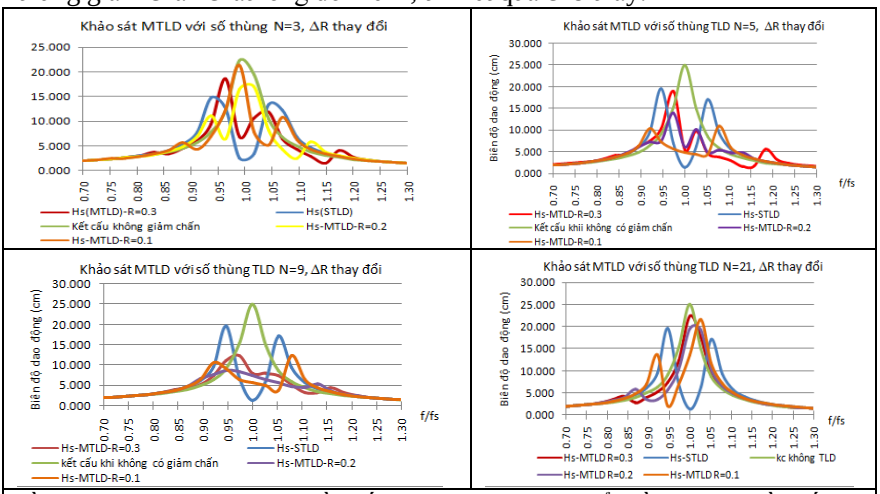
Kết quả biểu diễn trên biểu đồ thể hiện mối quan hệ giữa ứng xử của kết cấu theo tỷ số tần số (tỷ số giữa tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu). Trong mỗi trường hợp khảo sát gồm 3 đường biểu diễn: đường đồ thị ứng xử của kết cấu khi không gắn TLD, khi gắn hệ SLTD và hệ MTLD với N TLD đơn.



Trường hợp 1:Khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng chứa chất lỏng đến hiệu quả giảm chấn: Với cùng bề rộng dải tần số (ΔR= 0.2) tiến hành khảo sát với số lượng thùng chứa chất lỏng thay đổi lần lượt N =3,5,7,9,11,15…21. Hệ MTLD chỉ có hiệu quả tốt đối với số lượng thùng TLD đơn lẻ nhất định, vượt quá số lượng tạo hiệu quả nhất này thì nếu tiếp tục tăng số lượng thùng TLD thì hiệu quả của hệ MTLD sẽ không tăng nữa thậm trí không còn hiệu quả giảm dao động cho kết cấu nữa. Số lượng thùng TLD hợp lý trong khảo sát là hệ MTLD gồm N=5-11 thùng TLD đơn lẻ.



Kết quả khảo sát trường hợp 2:Khi thay đổi bề rộng dải tần số của các TLD trong hệ MTLD ΔR lần lượt là 0.1; 0.2; 0.3 ứng với mỗi trường hợp của số lượng thùng giảm chấn chất lỏng đơn lẻ N, thì kết quả cho thấy:

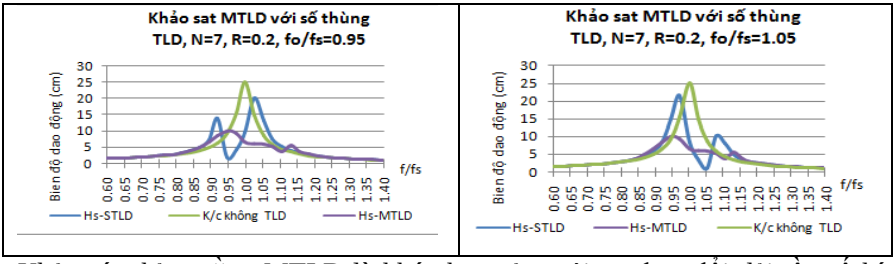


Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số hệ MTLD khi thay đổi bề rộng dải tần số ΔR

Ứng với số lượng thùng hợp lý thì bề rộng dải tần số thay đổi đồ thị thể hiện rõ hiệu quả của MTLD là tốt khi chênh tần số giữa các TLD đon trong MTLD là β= 0.01 - 0.02 (bề rộng dải tần số là 0.2 -0.3).

Kết quả khảo sát trường hợp 3:

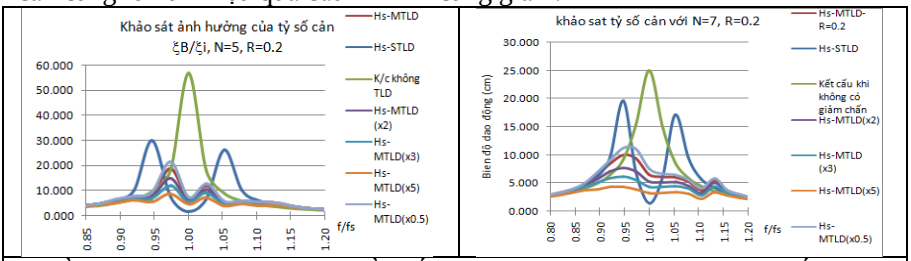
Hiệu quả của hệ MTLD khi tỷ số giữa tần số trung tâm của MTLD và kết cấu không bằng 1 (tỷ số của 2 tần số này là f_0/f = 0.95, 1.05.



Khảo sát chỉ ra rằng MTLD là khá nhạy cảm với sự thay đổi dải tần số kích thích, tuy nhiên thì ứng xử với sự thay đổi này là tốt hơn hệ STLD.

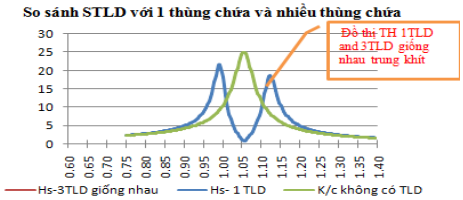
Kết quả khảo sát trường hợp 4 – Khảo sát ảnh hưởng của tham số tỷ số cản (tỷ lệ giữa tỷ số cản của hệ MTLD so với tỷ số cản của kết cấu).

Tỷ số giữa tham số cản của kết cấu trên tham số cản của MTLD càng lớn đường đồ thị càng trở nên phẳng với 2 đỉnh có giá trị xấp xỉ nhau. Tỷ số này tăng đến 5 (tỷ số cản của kết cấu lớn gấp 5 lần tỷ số cản của giảm chấn) thì đồ thị với 2 đỉnh càng gần với dạng của đồ thị hàm STLD. Như vậy, chênh tỷ số cản càng lớn thì hiệu quả của MTLD càng giảm.



Đồ thị khảo sát hàm ứng xử tần số hệ MTLD Khi có chênh lệch tỷ số cản

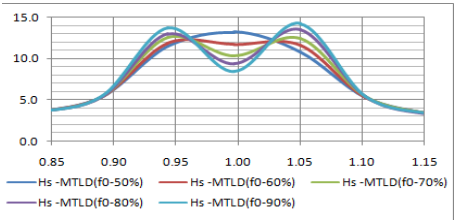
Kết quả khảo sát trường hợp 5: Khảo sát hệ STLD khi sử dụng 1 thùng TLD đơn và khi sử dụng nhiều thùng TLD giống nhau:



STLD bao gồm chỉ 1 thùng TLD và STLD gồm 3 thùng với cùng tần số dao động tự nhiên có biểu đồ trùng khít nhau.

Hệ nhiều TLD đơn giông nhau - STLD

Kết quả khảo sát trường hợp 6 – Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng của TLD đơn lẻ trong hệ MTLD so với tổng khối lượng chất lỏng của hệ (m_i/m_L).



Khảo sát hàm ứng xử tần số khi tỷ lệ khối lượng giữa TLD có tần số trung tâm với tổng khối lượng chất lỏng thay đổi

Khối lượng của TLD có tần số trung tâm tăng lên thì hiệu quả của MTLD tăng lên. Ứng với giá trị nhất định nào đó thì đồ thị của hệ đi khá phẳng chứng tỏ ứng xử của kết cấu trở nên đáp ứng tốt với dải rộng tần số kích động.

CHƯƠNG 4
THỰC HIỆN THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH TRÊN BÀN RUNG NHẰM ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM DAO ĐỘNG CỦA GIẢM CHẤN CHẤT LỎNGTLD

Để xác nhận giá trị của hàm ứng xử tần số đã thiết lập và hiệu quả thực của MTLD, việc thí nghiệm trên mô hình khảo sát ứng xử của kết cấu theo tỷ số tần số giữa tần số dao động tự nhiên của TLD và tần số dao động tự nhiên của kết cấu được thực hiện trong chương này.

Mô hình thí nghiệm là mô hình mô phỏng sơ đồ hoạt động của mô hình kết cấu trong thí nghiệm. Mô hình kết cấu sử dụng cho thí nghiệm là cơ sở để có thể thu thập được số liệu cho việc so sánh, đối chứng với các kết quả phân tích lý thuyết.

Mô hình kết cấu cho thí nghiệm:Kết cấu cột dạng chữ H có chiều cao 3.1m,Cột làm việc như một đầu ngàm một đầu tự do. Tần số dao động tự nhiên của kết cấu trong phân tích dao động theo kết quả phân tích mô hình trên phần mềm Midas Civil 7.0.1 với 6 mode dao động điển hình là:

STT	Mode	Khối lượng kết cấu (Kg)	Tần số dao động tự nhiên (Hz)	Tỷ số cản
1	Mode 1	50.83	3.47	0.005
2	Mode 2	50.83	3.94	0.005
3	Mode 3	50.83	13.27	0.005
4	Mode 4	50.83	28.46	0.005
5	Mode 5	50.83	83.26	0.005
6	Mode 6	50.83	103.03	0.005

Hiệu chỉnh và xác định một số giá trị thực của mô hình

Trên cơ sở biến đổi Hilbert, giá trị tần số dao độngriêng của mô hình kết cấu thực là: f = 2.85Hz.Tỷ số cản tính toán thực là: 0.0018

Lựa chọn hàm tác động bàn rung và hiệu chỉnh bàn rung

Hàm điều hòa dạng: $y = A\sin(wt)$ hoặc$y = A\sin(2\pi f\ t)$

Tần số kích động cho bàn rung được lựa chọn sao cho trùng với tần số dao

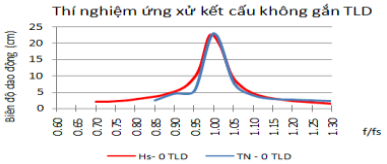
động riêng của kết cấu để đạt được giá trị chuyển vị cộng hưởng - chuyển vị lớn nhất của kết cấu và thay đổi trong dải:$0.8 \leq \frac{f}{f_s} \leq 1.2$

Chọn số điểm tần số kích động khảo sát là 9 điểm;f/f_s= 0.8; f/f_s= 0.85; f/f_s= 0.9; f/f_s= 0.95; f/f_s= 1; f/f_s= 1.05; f/f_s= 1.1; f/f_s= 1.15;f/f_s= 1.2.

Hệ TLDtrong thí nghiệm là các thùng hình chữ nhật bằng nhựa kính có kích thước theophân tích hàm ứng xử tần số là:

L=80mm, b=60mm, và H=60mm.

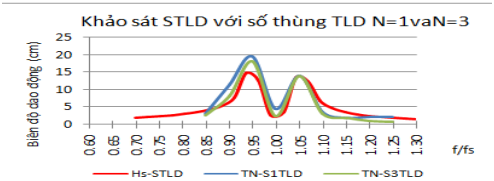
Đánh giá kết quả thí nghiệm theo các trường hợp như sau:



Trường hợp 0 – Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi không gắn thiết bị TLD.

Đồ thị với 2 đường lý thuyết và thí nghiệm thể hiện cho trường hợp kết cấu không gắn giảm chấn chất lỏng có dạng tương đồng và giá trị tương đối sát nhau cho thấy việc sử dụng dữ liệu tần số dao động riêng của kết cấu thực đo được là phù hợp.

4.6.1. Kết quả khảo sát trường hợp đặc biệt khi kết cấu chỉ gắn 1 thùng giảm chấn chất lỏng và khi gắn nhiều thùng giảm chấn giống nhau (giảm chấn chất lỏng đơn tần số STLD)

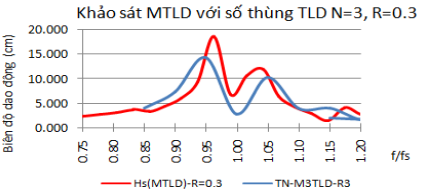


Trường hợp 1a và 1b – Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi gắn 1 thùng giảm chấn chất lỏng và khi gắn nhiều thùng giảm chấn giống nhau.

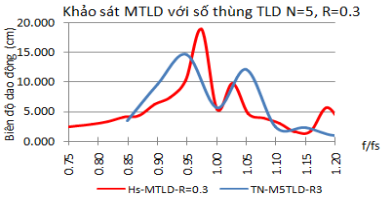
Đường đồ thị thể hiện kết quả thí nghiệm của 2 trường hợp kết cấu khi lắp đặt 1 thùng TLD và 3 thùng TLD có chiều sâu chất lỏng giống nhau có dạng tương đồng tuy nhiên không hoàn toàn trung khít như như theo phân tích lý thuyết. Lý do được dự đoán do sai số chế tạo thùng chứa TLD, sai số chiều sâu chất lỏng khi đổ vào thùng.

4.6.2. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng chứa chất lỏng khác nhau trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD đến hiệu quả giảm dao động

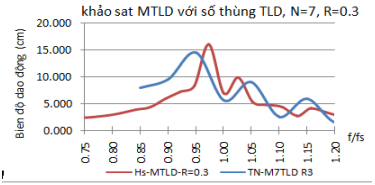
Trường hợp 2a – Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 3 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (3 thùng có chiều sâu chất lỏng khác nhau - MLTD). Bề rộng dải tần số ΔR=0.3.



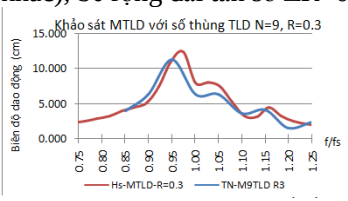
Trường hợp 2b - Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 5 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (5 thùng có chiều sâu chát lỏng khác nhau), bề rộng dải tần số ΔR=0.3.



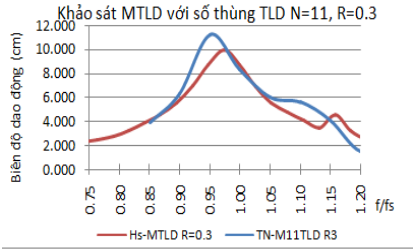
Trường hợp 2c - Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 7 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số ΔR=0.3.



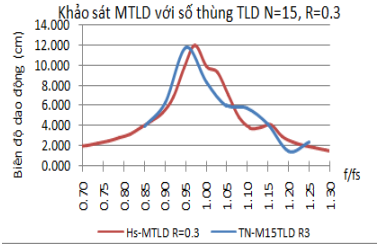
Trường hợp 2d - Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 9 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số ΔR=0.3



Trường hợp 2e - Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 11 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số ΔR=0.3



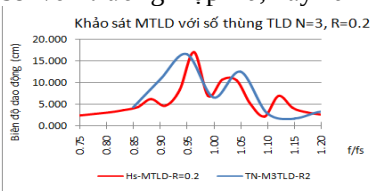
Trường hợp 2f - Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 15 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số ΔR=0.3



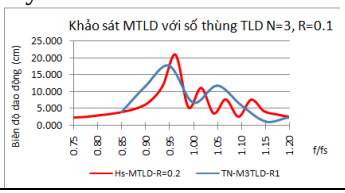
Đồ thị của các trường hợp khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng giảm chấn chất lỏng của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD đến hiệu quả giảm dao động cho thấy khá phù hợp về dạng so với đường đồ thị phân tích lý thuyết. Ứng xử của kết cấu tại vị trí tỷ số tần số bằng và xấp xỉ bằng 1so sánh giữa lý thuyết và thực nghiệm là khá gần nhau, càng xa giá trị tỷ số tần số bằng 1 các giá trị có xu hướng khác biệt nhiều hơn. Kết quả này một lần nữa khẳng định số lượng thùng chứa chất lỏng của giảm chấn chất lỏng đa tần số phù hợp nhất cho thiết kế khi nằm tỏng khoảng từ N =5-11 thùng.

4.6.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của bề rộng dải tần số của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD đến hiệu quả giảm dao động

Trường hợp 3a - Trường hợp có 3 thùng giảm chấn chất lỏng TLD khác nhau (3 thùng được đổ lượng chất lỏng khác nhau), bề rộng dải tần số thay đổi so với trường hợp 2a, lấy là ΔR=0.2.



Trường hợp 3b - Trường hợp có 3 thùng giảm chấn chất lỏng TLD khác nhau (3 thùng được đổ lượng chất lỏng khác nhau), bề rộng dải tần số thay đổi so với trường hợp 2a, lấy là ΔR=0.1.

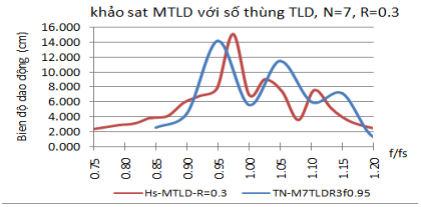


Khi bề rộng dải tần số thay đổi dữ liệu thí nghiệm thể hiện khá nhạy cảm với sự thay đổi này.Đường thực nghiệm có dạng giống đường lý thuyết tuy nhiên với ít đỉnh giá trị hơn. Điều này có thể được giải thích do việc hạn chế khi thực hiện thí nghiệm với số điểm kích động chưa đủ nhiều nên chưa thể hiện được các biến đổi của đồ thị.

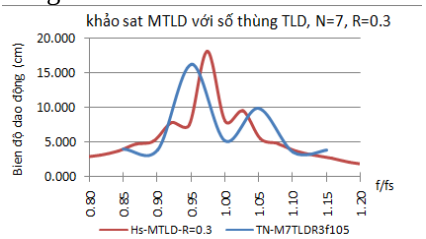
4.6.4. Khảo sát giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD với tỷ số giữa tấn số trung tâm của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu không bằng 1 khi số lượng thùng chứa chất lỏng N= 7 TLD.

Khi tỷ số tần số giữa tần số kích động với tấn số dao động riêng của kết cấu không bằng một, đường đồ thị thực nghiệm thể hiện khá nhạy cảm với sự thay đổi này.Dạng của đường đồ thị thí gnhiệm và lý thuyết là khá phù hợp.

Trường hợp 4a: Trường hợp có 7 thùng TLD (khác nhau), bề rộng dải tần số ΔR=0.3 và tỷ số giữa tần số trung tâm của giảm chấn chất lỏng MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu f/fs =0.95.



Trường hợp 4b: Trường hợp có 7 thùng TLD (khác nhau), bề rộng dải tần số ΔR=0.3 và tỷ số giữa tần số trung tâm của giảm chấn chất lỏng đa tấn số MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu f/fs =1.05.



Kết luậnchương 4: Độ chính xác của hàm ứng xử tần số lý thuyết đã thiết lập, việc thí nghiệm mô hình cột trên bàn rung chịu tác động kích động của các tần số dao động khác nhau được thực hiện. Mô hình cột thép được thiết kế, mô hình hóa phân tích trên phần mềm và sau đó được chế tạo lắp đặt các đầu đo và đặt trên bàn rung. Kết quả thu được từ việc đo đạc được phân tích trên phần mềm Matlab và đường thực nghiệm được vẽ lại để đối chiếu với đường lý thuyết đã thiết lập.

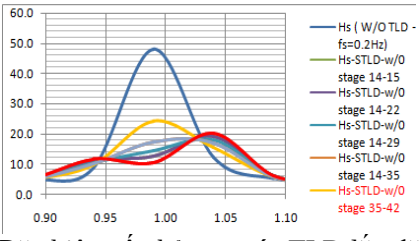
CHƯƠNG 5
HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỎNG ÁP DỤNG CHO CÔNG TRÌNH CẦU BÃI CHÁY – VIỆT NAM

Giảm chấn chất lỏng TLD hiện có tại cầu Bãi Cháy

Trên thực tế có 4 loại thùng TLD đã lắp đặt tại tháp Cầu Bãi Cháy. Kích thước của mỗi thùng có cùng chiều dài, chiều rộng thay đổi từ 200-500mm. Tỷ số khối lượng trong thiết kế TLD cho tháp Bãi Cháy đã lắp đặt là $\mu_L = m_L/m_S = 0.0047$.Việc thiết kế TLD được thực hiện theo các giai đoạn và ứng với mỗi giai đoạn, số lớp TLD đượclắp đặt tùy thuộc vào các phân đoạn tháp đã được xây dựng.

5.1. Tính toán kiểm chứng, thiết kế MTLD cho tháp cầu Bãi Cháy sử dụng tần số thiết kế chỉ đạo f_0 = 0.1886Hz.

Khảo sát với hệ STLD: so sánh hệ khi không có TLD và khi chỉ cómột vài TLD trong các giai đoạn thi công như sau:



Đồ thị thể hiện phương án thiết kế TLD cho cầu Bãi Cháy là tối ưu bởi nếu bỏ bớt một số lớp TLD tại một số giai đoạn như đã lắp đặt, thì biểu đồ cho thấy hiệu quả của hệ trong việc giảm dao động là thấp hơn.

Đặc biệt, nếu bỏ qua các TLD lắp đặt tại vị trí đỉnh tháp ứng với giai đoạn thi công cuối (vị trí bố trí gần đỉnh tháp), thì hiệu quả trong việc giảm dao động cho tháp cầu là thấp nhất.

*Khảo sát với hệ MTLD:*số lượng thùng TLD đơn trong hệ MTLD là N=5. Chi tiết như sau:

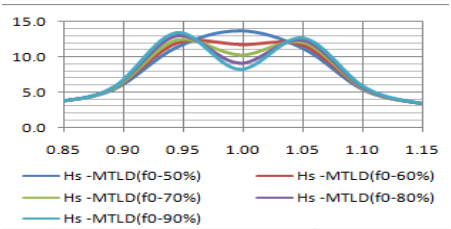
- Tần số trung tâm được thiết kế bằng với tần số dao động tự nhiên của tháp cầu theo phân tích trên phần mềm f=0.1886 Hz;
- Bề rộng dải tần số ΔR=0.2.
- Khoảng tần số lấy cân bằng β=0.094 Hz;
- Kích thước của 5 thùng là như nhau là 1400x500 mm.

STT	nhóm	Tần số dao động (Hz)	Chiều sâu chất lỏng (cm)	Tỷ số cản - ξ
1	m1	0.16974	2.301	0.031
2	m2	0.17917	2.563	0.027
3	m3	0.18860	2.839	0.024
4	m4	0.19803	3.129	0.022
5	m5	0.20746	3.433	0.019

Việc khảo sát theo các trường hợp như:

STT	nhóm	Tỷ lệ % của khối lượng chất lỏng trong mỗi nhóm 5 thùng của hệ MTLD				
		Trường hợp 1	Trường hợp 2	Trường hợp3	Trường hợp 4	Trường hợp5
1	m1	2	5	5	10	10
2	m2	3	5	10	10	15
3	m3	90	80	70	60	50
4	m4	3	5	10	10	15
5	m5	2	5	5	10	10

Kết quả khảo sát ứng xử của kết cấu khi tỷ lệ khối lượng của TLD có tần số trung tâm thay đổi:



Đồ thị thể hiện hiệu quả của MTLD ứng với tỷ lệ khối lượng chất lỏng của TLD có tần số trung tâm, có hiệu quả tốt khi giá trị tỷ lệ khối lượng nằm tỏng khoảng 50-60%.

Hiệu quả của MTLD là thể hiện rõ hơn trường hợp dùng hệ STLD với cùng các dữ liệu đầu vào thể hiện qua biểu đồ:

Chi tiết thiết kế MTLD kiểm chứng cho công trình cầuBãi Cháy: Số lượng TLD đơn trong hệ MTLD là khác nhau trong mỗi nhóm 5 thùng và mỗi vị trí. Với cách bố trí hệ MTLD dọc theo chiều cao tháp, hiệu quả của hệ tăng lên và tổng số lượng thùng TLD giảm đi so với hệ SLTD hiện có tại cầu Bãi Cháy.

Cụ thể bố trí như sau:

TLD	Khối lượng chất lỏng (mode 1)										
	GĐ 42	0.993	GĐ 39	0.845	GĐ 36	0.744	GĐ 30	0.552	GĐ 25	0.415	Tổng m_L (T)
m1	1	0.016	1	0.014	1	0.012	1	0.009	1	0.007	0.057
m2	14	0.249	10	0.152	10	0.133	10	0.099	12	1.242	1.876
m3	18	0.355	12	0.201	12	0.177	10	0.110	18	2.654	3.498
m4	2	0.044	1	0.019	1	0.016	1	0.012	1	0.018	0.108
m5	1	0.024	1	0.020	1	0.018	1	0.013	1	0.010	0.085
	36	**0.688**	**25**	**0.405**	**25**	**0.357**	**23**	0.243	**33**	3.931	**5.624**
Tổng số lớp											**142**

5.2. Tính toán kiểm chứng, thiết kế MTLD cho tháp cầu Bãi Cháy sử dụng tần số thiết kế chỉ đạo f_0 = 0.2Hz.

Tần số của tháp khi thay đổi từ 0.1886 sang 0.2 ảnh hưởng lớn đến ứng xử chuyển vị của tháp trong 2 trường hợp khi không và khi có gắn TLD.

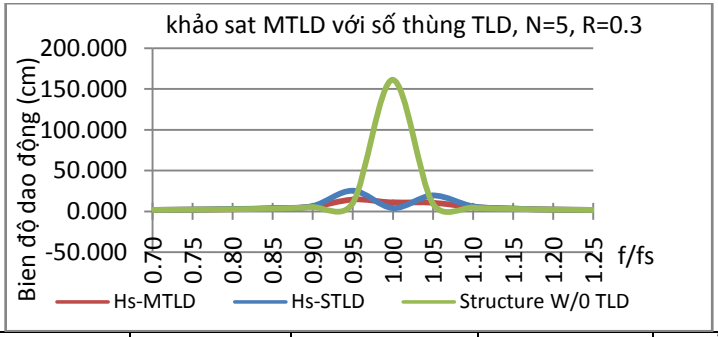
Khảo sát hệ MTLD với tần số chỉ đạo cho thiết kế MTLD (tần số trung tâm) f_0= 0.2Hz.và chi tiết:

Tổng khối lượng chất lỏng m_L = 2.876T

Tỷ số khốilượng chất lỏng $\mu_L = m_L/m_S = 0.005$

Bề rộng dải tần số ΔR =0.2

Khoảng tần số β = 0.015



STT	nhóm	Tần số dao động (Hz)	Chiều sâu chất lỏng (cm)	Tỷ sốcản - ξ	Khối lượng chất lỏng trong 1 thùng (T)
1	m1	0.180	2.586	0.027	0.018
2	m2	0.190	2.881	0.024	0.020
3	m3	0.200	3.191	0.021	0.022
4	m4	0.210	3.517	0.019	0.025
5	m5	0.220	3.858	0.017	0.027

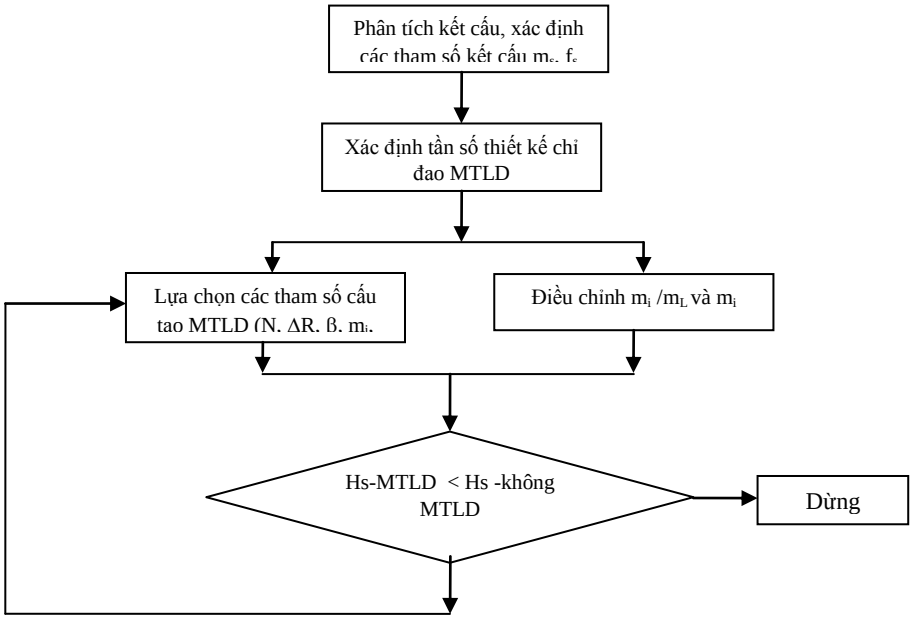
Chi tiết về tỷ lệ khối lượng của mỗi TLD đơn trong nhóm 5 TLD thuộc hệ MTLD và số giai đoạn lắp đặt MTLD cho tháp cầu Bãi Cháy thiết kế theo mode 1 như sau:

TLD	**GĐ 42**		**GĐ 40**		**GĐ 37**		**GĐ 33**		**GĐ 30**		**GĐ 25**		**GĐ 22**		**M_L**
	mode 1	**0.9933**		**0.8799**		**0.7768**		**0.6434**		**0.5517**		**0.4146**		**0.3417**	
m1	1	0.018	1	0.016	1	0.014	1	0.012	1	0.012	1	0.007	1	0.006	0.084
m2	2	0.040	1	0.018	1	0.016	1	0.013	1	0.026	1	0.007	1	0.007	0.126
m3	10	0.222	8	0.157	8	0.139	8	0.115	6	0.857	6	0.391	6	0.046	1.927
m4	8	0.196	2	0.043	2	0.038	2	0.032	2	0.252	2	0.036	2	0.017	0.613
m5	1	0.027	1	0.024	1	0.021	1	0.017	1	0.017	1	0.010	1	0.009	0.125
Tổng	**22**	**0.502**	**13**	**0.258**	**13**	**0.228**	**13**	0.18867	**11**	1.163	**11**	0.451	**11**	**0.085**	**2.876**

Kết luận chương 5

– MTLD là khá nhạy cảm với sự thay đổi tần số tới ứng xử của kết cấu. Hiệu quả trong việc giảm dao động của MTLD tăng trong khi số lượng thùng chứa chất lỏng giảm còn 94TLD. Điều này có nghĩa là việc dùng hệ SLTD trong phương án thiết kế cho hệ hiện có là tối ưu nhưng nếu thay hệ này bằng hệ MTLD thì hiệu quả tăng lên mà vẫn có khả năng tiết kiệm vật liệu.

– Trên cơ sở các phân tích và tính toán kiểm chứng trên mô hình cầu Bãi Cháy, đề xuất sơ đồ hướng dẫn thiết kế MTLD giảm dao động cho kết cấu dạng tháp như sau:



KẾT LUẬN

1. Nghiên cứu ứng dụng hệ giảm chấn dùng chất lỏng trong điều khiển dao động cho cầu dây văng tại Việt Nam là hết sức cần thiết.
2. Luận án 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.
3. Trên cơ sở các nghiên cứu về hệ giảm chấn khối lượng đa tần số (MTMD) của GS. Igusa và Xu (1990,1991,1992) và nghiên cứu sử dụng giảm chấn khối lượng TMD tương đương thay cho giảm chấn chất lỏng TLD của GS. Yozo Fujino, TS. Wakahara, TS. Sun Limin và GS. TSKH Nguyễn Đông Anh, nghiên cứu thiết lập hàm ứng xử tần số cho mô hình với kết cấu là 1 bậc tự do và các giảm chấn chất lỏng là các bậc tự do còn lại thể hiện hệ tương tác giữa giữa kết cấu và nhiều giảm chấn chất lỏng (MTLD) nhằm phản ánh ứng xử của kết cấu theo tỷ lệ giữa tần số lực kích động với tần số dao động riêng của kết cấu. 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) là có hiệu quả giảm chấn cho kết cấu dạng tháp hơn hệ STLD với giá trị nhất định của các tham số trong hệ.

4. Phân tích số hàm ứng xử tần số đã xây dựng 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. Cụ thể:

– Giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD) thực tế là trường hợp đặc biệt của giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD). Trong giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) tần số của mỗi thùng đơn là khác nhau trong khi ở giảm chấn chất lỏng đơn tần số (SLTD) là giống nhau (thừa nhận tỷ số khối lượng giữa giảm chấn và kết cấu trong 2 hệ là như nhau).

– Khi so sánh giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD) với 1 thùng giảm chấn đơn và giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD) với số lượng thùng TLD nào đó (tần số dao động tự do của 2 hệ là như nhau) cho thấy hiệu quả của 2 hệ là như nhau. Điều này có nghĩa rằng số lượng của các thùng đơn trong giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD) được lựa chọn vừa nhằm phục vụ cho quá trình xây dựng, phù hợp với kích thước của kết cấu và tăng hiệu quả giảm dao động cho toàn hệ kết cấu (trường hợp thiết kế hiện tại của cầu Bãi Cháy).

– 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 (ΔR = 0.1), chênh tần số giữa các TLD đơn nhỏ thì hiệu quả giảm dao động của MTLD 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 (ΔR = 0.3) thì hiệu quả của MTLD là tốt hơn của hệ SLTD. Do vậy, hiệu quả của hệ MTLD 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 β= 0.01 - 0.02.

Đặc biệt, luận án đã chỉ ra được mối quan hệ về khối lượng giữa các thùng đơn lẻ trong 1 nhóm thùng có số lượng thiết kế của MTLD khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập. Trong hệ MTLD sẽ gồm N thùng chứa, mỗi thùng có 1 giá trị tần số riêng (1 TLD đơn) và các tần số cảu N thùng thuộc dải tần số thiết kế. Tỷ số giữa khối lượng của thùng có tần số trung tâm (tần số chủ đạo được lấy để thiết kế thường là bằng với tần số dao động tự nhiên của kết cấu) và tổng khối lượng chất lỏng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) và tỷ số khối lượng của mỗi TLD đơn với khối lượng hình thái của kết cấu cũng được khảo sát trong luận án. Kết quả chỉ ra rằng hiệu quả giảm dao động tăng cùng với sự tăng khối lượng của TLD có tần số trung tâm. Các TLD khác ít ảnh hưởng đến hiệu quả chung nhưng ảnh hưởng đến việc tìm

giá trị tối ưu cho giảm chấn.

5. Thí nghiệm mô phỏng ví dụ để minh chứng hiệu quả của hệ MTLD trong việc giảm dao động cho kết cấu dạng tháp khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập để phân tích được thực hiện với một mô hình cột đặt trên bàn rung .

6. Thực hiện thí nghiệm trên mô hình kết cấu cột bằng thép mô phỏng dạng chịu tác động kích động của hàm điều hòa với tổng số 189 trường hợp kích động kết cấu (21 trường hợp mỗi trường hợp tạo kích động cho bàn rung với 9 giá trị tần số dao động khác nhau) và lặp đi lặp lại 3 lần để có kết quả minh chứng hiệu quả của giảm chấn chất lỏng trong việc giảm dao động cho kết cấu dạng tháp khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập. Kết quả chỉ ra rằng:

7. Việc tính toán thiết kế mô hình cột và thực hiện các trường hợp thí nghiệm được tính toán chi tiết để có thể so sánh kiểm chứng với các kết quả phân tích lý thuyết về hệ MTLD. Kết quả thí nghiệm được đánh giá, so sánh với hệ STLD và khẳng định:

– Tương quan giữa ứng xử của kết cấu (biên độ dao động) và tỷ số tần số là phù hợp với qui luật lý thuyết đã phân tích.

– Đánh giá sai số giữa kết quả lý thuyết và thực nghiệm trong phạm vi từ 7-11% là có thể chấp nhận được.

8. Ứng dụng kết quả nghiên cứu để làm rõ hiệu quả của hệ các TLD đã lắp đặt cho cầu Bãi Cháy tại Việt Nam trong các trường hợp gồm: (1) Nghiên cứu hệ STLD đã lắp đặt; (2) thay đổi cách bố trí các TLD trong hệ STLD để đánh giá tính hợp lý trong cách bố trí lắp đặt hệ; (3) nghiên cứu trong trường hợp thay thế hệ STLD bằng hệ MTLD sử dụng các tham số đề xuất. Việc nghiên cứu này được thực hiện trong cả 2 trường hợp sử dụng tần số dao động của tháp cầu lấy từ kết quả phân tích bằng phần mềm và sử dụng tần số từ thí nghiệm rung lắc. Các kết luận này là cơ sở cho các kỹ sư Việt Nam ứng dụng thiết kế hệ TLD cho kết cấu dạng tháp.

KIẾN NGHỊ VỀHƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

1. Bài toán đang nghiên cứu là 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 MTLD chịu tác động của 1 hàm kích thích ngẫu nhiên.
- Hệ mô hình tương tác của kết cấu đa bậc tự do với hệ MTLD chịu tác động của kích thích ngẫu nhiên.
- Xây dựng phương trình gió trên cơ sở phương trình dao động của hệ tương tác kết cấu và MTLD.

2. Mô hình tính toán đề xuất cho hướng nghiên cứu là các thùng TLD đơn trong hệ MTLD đặt nối tiếp vào kết cấu.