

**VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN CƠ HỌC**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI CẤP NHÀ NƯỚC
MÃ SỐ KC 05.30**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ
TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG CHỐNG DAO ĐỘNG CÓ HẠI
PHỤC VỤ CÁC CÔNG TRÌNH KỸ THUẬT**

Chủ nhiệm đề tài: GS. TSKH NGUYỄN ĐÔNG ANH

5881
12/6/2006

HÀ NỘI – 12/2005

**VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN CƠ HỌC**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI CẤP NHÀ NƯỚC
MÃ SỐ KC 05.30**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ
TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG CHỐNG DAO ĐỘNG CÓ HẠI PHỤC
VỤ CÁC CÔNG TRÌNH KỸ THUẬT**

Chủ nhiệm đề tài: GS. TSKH NGUYỄN ĐÔNG ANH

**TẬP 1
NGHIÊN CỨU CÁC GIẢI PHÁP KỸ THUẬT CHỐNG DAO ĐỘNG
CÓ HẠI BẰNG THIẾT BỊ TTNL**

HÀ NỘI – 12/2005

I. NGHIÊN CỨU CÁC GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CHỐNG DAO ĐỘNG CÓ HẠI BẰNG THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG (TTNL)

1. Đánh giá các dao động có hại trong những công trình kỹ thuật ở Việt Nam

Hiện nay, công nghệ giảm dao động có hại (DĐCH) là một trong những quan tâm hàng đầu của các cơ quan nghiên cứu và ứng dụng [1,2,6,7,9,23,29-39,67-72]. DĐCH xuất hiện trong nhiều lĩnh vực: phương tiện giao thông chịu kích động mặt đường; tàu thủy và các công trình ngoài khơi chịu tác động sóng gió; các tháp vô tuyến, cao ốc chịu tác động gió và động đất; các cầu treo chịu tải trọng gió bão; các thiết bị, tước bin hoạt động với tốc độ cao... Các DĐCH này ngày càng nguy hiểm và cần được quan tâm thích đáng vì 3 lý do:

- Sự tăng lên về quy mô kết cấu, tốc độ máy móc, cường độ kích động ngoài.
- Sự cấp thiết về việc giảm giá thành các công trình lớn.
- Yêu cầu cao về an toàn cho các công trình quan trọng.

Ngoài ra, nước ta đang phát triển công nghiệp đóng tàu biển, tự động hóa trong ngành cơ khí, công nghiệp dầu khí, dàn khoan biển, cầu dây văng v.v... Tất cả các lĩnh vực này đều có nhu cầu áp dụng các biện pháp dập tắt DĐCH. Dưới đây ta sẽ xem xét sâu hơn một số lĩnh vực điển hình.

a. Phân tích các dao động có hại trong công trình biển và cảng

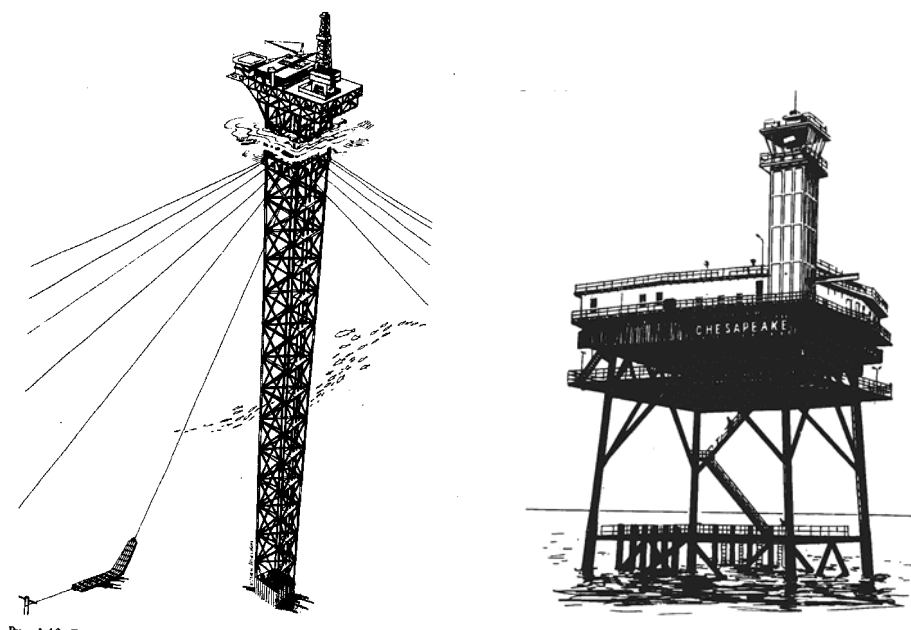
Dao động có hại trong công trình biển

Trong xây dựng yêu cầu giảm DĐCH được đặt ra trong nhiều năm lại đây. Những tính toán cổ điển thường coi công trình xây dựng là kết cấu tĩnh, yếu tố động được đưa về yếu tố tĩnh tương đương. Do đó, những phương pháp giảm dao động cũng mang tính "tĩnh" như: tăng cường độ cứng của kết cấu. Xu hướng này đã thay đổi vì:

+ Các kết cấu ngày càng cao hơn, dài hơn và do đó cũng mảnh hơn. Việc tăng độ dày sẽ làm tăng khối lượng dẫn tới việc phải gia cố móng hay bổ sung các trụ cầu. Những công việc này thường quá tốn kém.

+ Do sự tăng lên về quy mô, kết cấu cũng phải chịu thêm những tải trọng động phức tạp (động đất, gió, sóng biển...). Việc quy về mô hình tĩnh để tính toán không còn phù hợp.

Các công trình biển thường phải chịu các tải trọng sóng, gió, dòng chảy - là các tải trọng động, có cường độ lớn. Do vậy nhu cầu giảm dao động đang là mối quan tâm, đặc biệt đối với các loại giàn được neo giữ bằng các dây cáp hoặc các ngọn hải đăng, các công trình quan sát. Hiện nay trong lĩnh vực công trình biển ở Việt Nam, vấn đề giảm dao động cho các công trình DKI đang được rất nhiều cơ quan quản lý và nghiên cứu giải quyết.



Hình 1.1: Hai dạng công trình biển chịu dao động lớn

Dao động của các công trình DKI

Dự án xây dựng các công trình DKI, có vị trí chiến lược về kinh tế, KHKT, ANQP, được bắt đầu từ năm 1989, thuộc chương trình Biển Đông-Hải Đảo của Nhà nước. Công trình DKI chủ yếu được xây dựng trên các bãi san hô chìm có độ sâu nước từ 7-50m ở phía Đông Nam Việt Nam, cách Vũng Tàu khoảng 400-700 km, trong khu vực thêm lục địa của Việt Nam, trừ DKI/10 xây dựng trên nền bùn yếu ở Bãi cạn Cà Mau. Địa hình đáy biển khu vực này là “đôi núi” san hô ngấm nước, rất không bằng phẳng. Tại một số bãi nhô cao tương đối bằng phẳng đã xây dựng các công trình DKI, tạo thành “Làng trên biển” để chốt giữ, khẳng định chủ quyền biển, thêm lục địa của Việt Nam trong khu vực này.

Địa chất nền san hô rất phức tạp, tính không đồng nhất rất lớn. Chỉ trong phạm vi rộng, sâu một vài mét, cấu tạo địa chất, cường độ san hô, các tính chất cơ lý đã có sự thay đổi khác nhau rất lớn, không theo qui luật nào. Để có cơ sở khoa học về tính chất cơ lý của nền san hô cho việc xây dựng các công trình DKI, trong những năm qua, đã khoan được 28 mũi khoan thăm dò địa chất, mũi sâu nhất đến 50m, lớp trên chủ yếu là san hô sống, có vị trí lớp mặt là đá san hô cứng khác nhau, xen kẽ có cả cát sạn san hô, cường độ không đồng đều dao động từ 80-270kg/cm²... Từ các yếu tố này rất khó cho việc xác định khả năng chịu lực của nền san hô để tính toán công trình.

Khí tượng thủy văn của khu vực DKI cũng rất phức tạp, trong lĩnh vực công nghệ biển (kể cả Vietsovpetro), đến nay ta đã thu thập, có thêm nhiều số liệu thực tế để ngày càng phù hợp hơn với KTTV ở đây. Với tần suất lũ 1% đã có một số số liệu cho thiết kế xây dựng công trình DKI giai đoạn 1989 – 1998 như sau:

-Tốc độ gió 2': 34m/s → 45m/s → 50m/s.

- Chiều cao sóng: 7m → 9m → 10,5m → 14m.
- Dao động thủy triều khoảng 2,0m → 2,3m.
- Dòng chảy mặt: 3,2m/s → 2,4m/s...

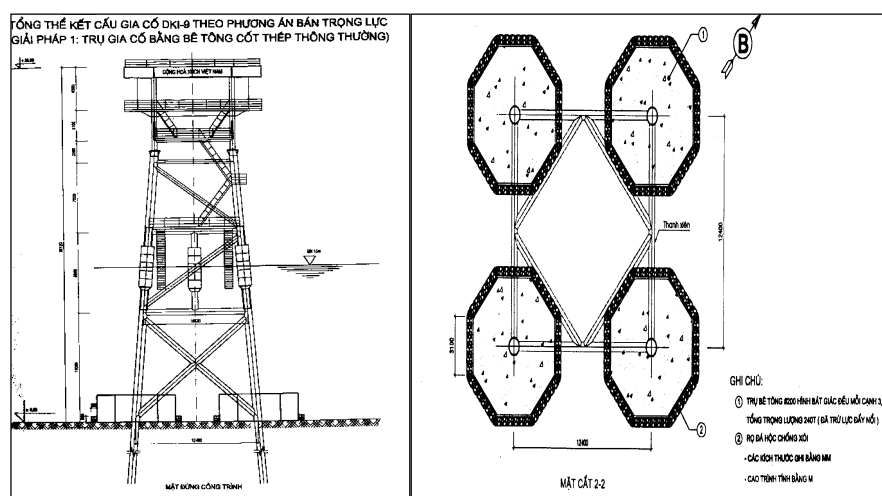
Đây là những số liệu khí tượng thủy văn đã được dùng trong tính toán thiết kế công trình DKI trong giai đoạn xây dựng. Để đáp ứng yêu cầu khai thác, phát triển KT biển, dịch vụ KHKT biển, ANQP của đất nước, trong những năm qua đã xây dựng một số CTB tại vùng DKI, trong đó có công trình có sân bay, trạm nghiên cứu về biển, trạm KTTV... Đã áp dụng 3 dạng móng: trọng lực, bán trọng lực và móng cọc. Từ thực tế sử dụng cho thấy dạng móng bán trọng lực là khá thích hợp với vùng DKI (nền san hô). Các công trình DKI đã, đang và sẽ tiếp tục đứng vững, khẳng định vị trí chiến lược quan trọng của nó, góp phần vào sự phát triển, khai thác tiềm năng biển vô cùng phong phú, giàu có ở đây, tăng cường khả năng QP, góp phần vào ổn định chính trị của đất nước trong những năm qua. Về mặt khoa học CTB, ta đã có một bước tiến bộ vượt bậc cả về số liệu khoa học, kinh nghiệm thu thập được cũng như sự lớn mạnh, trưởng thành của đội ngũ cán bộ khoa học CTB.

Tuy vậy, một số công trình DKI xây dựng ở thời kỳ đầu (1989, 1990) sau một số năm đã bị sự cố: đa phần có sự rung lắc, một số tháp không sử dụng được, nghiêng lệch, bị đổ... Qua khảo sát thực tế tại các công trình DKI, đo đạc lấy số liệu khoa học, các hội nghị rút kinh nghiệm, hội nghị khoa học về DKI đã nêu ra một số nguyên nhân chính sau:

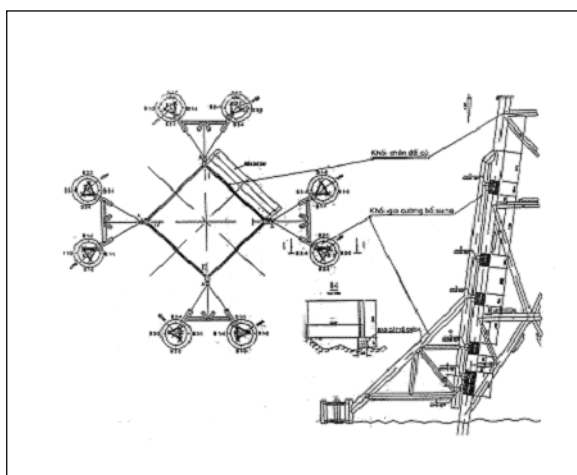
- Số liệu về khí tượng thủy văn cho đầu vào thiết kế thấp hơn thực tế rất nhiều, nhất là chiều cao sóng (thiết kế 14m, thực tế ở từng công trình đã cao tới 16,17m).

- Sự dính bám giữa cọc và nền san hô (lực ma sát) thấp, bị suy giảm khi công trình bị rung lắc nhiều (chiều sâu đóng cọc, số lượng cọc cho một công trình; trọng lực gia tải của công trình không tương xứng với sóng gió thực tế lớn hơn).

- Lĩnh vực công trình biển đối với ta còn rất mới, kinh nghiệm ban đầu ít, các công trình làm trước không hoàn chỉnh bằng các công trình làm sau.



Hình 1.2: Phương án “ Gia cường trực tiếp vào chân đế ”



Hình 1.3: Phương án “ Mở rộng chân đế ”

Để duy trì sự tồn tại lâu dài các công trình DKI theo nhiệm vụ chiến lược về biển, Nhà nước đã quyết định gia cường sửa chữa (GCSC) các công trình DKI. Trong thiết kế GCSC, các số liệu về KTTV, địa chất cơ bản vẫn lấy như giai đoạn xây dựng mới, riêng chiều cao sóng tính toán cho thiết kế GCSC đã tăng đến 15,8m. Trong giai đoạn GCSC các công trình DKI (2000-2004), đã tổ chức tuyển chọn và đưa vào ứng dụng 2 phương án. Phương án “Gia cường trực tiếp vào chân đế” (hình 1.2) đã áp dụng cho 20% số công trình. Phương án này thi công khá đơn giản, giá thành thấp, áp dụng cho các công trình có độ sâu nước hợp lý song chỉ bơm được bê tông vữa dâng trên biển, không mở rộng (xoè được) chân ra xa nên hiệu quả gia cố, tính bền vững chưa thật tin cậy. Phương án thứ 2 là “Mở rộng chân đế” (hình 1.3) đã dùng các khối dàn thép “tam giác” liên kết vào khối chân đế cũ, mở rộng chân đế ra 2-3 lần, chân các giàn tam giác ở phía ngoài được gia tải, liên kết với nền san hô bằng bơm bê tông, đã làm cho các công trình cứng vững, giảm hẳn rung lắc, chống lật tốt hơn. Phương án này về thi công phức tạp hơn; chi phí lớn hơn hẳn so với phương án “Gia cường trực tiếp”. Tuy vậy, cả 2 phương án đều chưa giải quyết được triệt để vấn đề cơ bản là nâng chiều cao sàn công tác của CT lên cao theo yêu cầu của quy phạm thiết kế CTB ứng với sóng cao 15,8m, do quá tốn kém; việc liên kết giữa khối gia tải vào chân đế CT cũ chưa thật tin cậy; hiện tượng rung lắc khi sóng gió lớn tuy đã giảm hẳn song vẫn chưa giải quyết được cơ bản. Cần phải tiếp tục nghiên cứu để có thể áp dụng KHCN tiên tiến của thế giới, làm giảm rung lắc, chống nhỏ công trình. Một trong những giải pháp đó là nghiên cứu áp dụng công nghệ ĐKKC cho các công trình DKI để tạo khả năng mở ra phương án sửa chữa mới hiệu quả bổ xung cho các kết quả đã có. Mặt khác, việc áp dụng công nghệ ĐKKC có thể góp phần tạo ra các kết cấu DK thể hệ mới có khả năng bền vững lâu dài trong môi trường biển Việt Nam. Mặt khác, cần phải tiếp tục nghiên cứu cơ bản để chính xác hoá hơn các số liệu đầu vào cho thiết kế công trình DK (Số liệu KTTV, tính chất cơ lý của nền san hô và dạng CTB thích nghi).

Xói lở bờ biển

Quá trình xói lở bờ biển là một trong những loại tai biến tự nhiên xảy ra tại hầu hết các bờ đại dương trên thế giới với qui mô và cường độ khác nhau. Hiện tại, từ móng cái đến Tĩnh Gia (Thanh Hóa) có 55 đoạn bị xói lở với tổng chiều dài 254 km, trong đó những đoạn có cường độ xói lở từ 50 đến 100m/năm chiếm 4%. Nguyên nhân của xói lở là do nhiều yếu tố gây nên như do chuyển động tân kiến tạo, dòng lực dòng chảy, nước dâng, triều cường..., trong đó không thể không tính đến cả tác động của chính con người. Bão kèm theo nước dâng từ lâu đã gây ra nhiều thảm họa trên thế giới.

Trượt đất và lở đất

Phân tích tài liệu nghiên cứu địa chất công trình đã thấy có ba khu vực trượt đất với các mức độ khác nhau. Khu vực có tiềm năng trượt đất với cường độ mạnh nhất là Hồng Gai và đèo Hải Vân; khu vực có tiềm năng trượt đất trung bình là từ Móng Cái đến Huế; khu vực ít tiềm năng trượt đất là Quảng Yên – Hải Phòng. Khu vực Trung bộ và Nam Trung bộ quá trình trượt lở bờ biển là rất lớn, ví dụ như trượt lở ở phân hạ lưu sông Hương (Thừa Thiên – Huế). Tại Mạo Khê, năm 1995 do trượt và lở đất mà hơn 1000m³ bùn tràn vào hầm lò. Tại Mông Dương, ngày 03/07/1998 đất đá đã ập vào mỏ một khối lượng tới 150.000m³. Tại Phấn Mễ sụt lở đã làm cho 2.900m³ đất đá lấp đầy hầm lò với chiều dày 72m.

Động đất ven biển

Hiện nay việc nghiên cứu động đất đã xác định được quy luật phân bố theo thời gian và không gian của các trận động đất xảy ra trên toàn đới ven biển từ Bắc bộ đến Nam bộ, xác định tần suất lặp lại động đất đối với 5 loại cấp khác nhau. Ngoài ra đã xây dựng được bản đồ phân bố chấn tâm động đất tỷ lệ 1:500.000, bản đồ vùng phát sinh động đất, bản đồ phân vùng động đất, trong đó các đặc trưng vùng tỷ lệ như sau: các vùng có khả năng mạnh đến cấp 8-9, có chiều rộng 20-25km là các vùng từ Hà Trung, Nga Sơn, Hậu Lộc đến Như Trung, Nông Cống, Tĩnh Gia (Thanh Hóa); vùng cấp 8 như là khu vực ven biển Xuân Thủy (Nam Định), Vũ Thư (Thái Bình), Hoàng Hóa (Thanh Hóa), Quỳnh Lưu, Diễn Châu, Nghi Lộc (Nghệ An), Quảng Trạch (Quảng Bình). Động đất gây ra hậu quả trực tiếp là phá huỷ những công trình, gây tổn thất sinh mạng, hậu quả gián tiếp là tạo nên những đợt sóng thần hoặc núi lửa phun...

Sóng thần

Trên khu vực biển Đông, sự xuất hiện của sóng thần luôn là mối đe dọa đối với tính mạng và tài sản của con người. Đặc biệt, hiện tượng sóng thần xảy ra vào cuối năm 2004 ở vùng biển Đông Nam Á là một trong những thiên tai lớn nhất trong nhiều năm gần đây. Theo cách phân loại của Sloviép S. L. (1978), trên vùng biển Việt Nam xuất hiện hai loại sóng thần có nguồn gốc khác nhau là:

- Sóng thần hình thành do yếu tố thời tiết.

- Sóng thần hình thành do động đất và núi lửa phun. Loại này được chuyên gia hải dương học nghiên cứu kỹ và kết quả nghiên cứu đã cho thấy vùng lãnh địa có sóng thần với cấp độ như sau:

- Vùng 1 và 2 thuộc đới ven biển từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa và đới ven biển đồng bằng Nam bộ từ Bà Rịa – Vũng Tàu đến Minh Hải. Các vùng này sóng đạt độ cao 4 m và có khả năng trào vào đất liền đến 30 km.

- Vùng 3 thuộc đới ven biển từ Nghệ An đến Thừa Thiên – Huế, sóng đạt độ cao 2 m và có khả năng trào vào đất liền đến 20 km.

- Vùng 4 từ Đà Nẵng đến Vũng Tàu, sóng đạt độ cao 1,5 m.

Việc nghiên cứu giảm tác hại của sóng thần lên các công trình biển, cảng, tàu thuyền, đặc biệt việc giảm các dao động lớn cho các phương tiện này đang được quan tâm.

Tình hình động đất ở Việt Nam

Cơ quan Khí tượng thủy văn và Địa vật lý đã thống kê và điều tra các trận động đất xảy ra ở miền Bắc Việt Nam từ năm 1925 đến năm 1967. Qua các biểu đồ động đất mạnh cảm thấy ở địa phương và ghi được bằng máy trong thế kỷ hai mươi đã xây dựng được bản đồ phân vùng động đất ở miền Bắc Việt Nam.

Vài thông tin cụ thể về các trận động đất điển hình gần đây:

* Trận động đất ở Lai Châu xảy ra ngày 19-2-2001 (Bảng 1)

Động đất xảy ra trong vùng núi Nam Oun thuộc Lào, cách thị xã Điện Biên Phủ khoảng 15 km.

- Độ sâu chấn tiêu 12.3 km

- Cấp độ 5.3 độ Richter

- Chấn động ở vùng chấn tâm kéo dài chừng 15 đến 20 km theo hướng Bắc Đông Bắc - Nam Tây Nam.

Tại Hue Pe (thuộc tỉnh Lai Châu) gần biên giới Việt - Lào chấn động mạnh làm sập mái hầm kè, gây nứt ở sườn dốc. Đập Pe Luông cách tâm chấn khoảng 10 km về phía Đông bị nứt vai đập và phần tiếp xúc giữa đập và tràn. Suối nước nóng Hua Pe nóng lên và có sự thay đổi về khoáng chất. Thiệt hại về kinh tế: ước tính khoảng 200 tỷ VND. Ngay sau đó xảy ra nhiều dư chấn kèm theo những tiếng nổ suốt đêm ngày 19 tháng 2 rạng sáng ngày 20. Một trong những dư chấn mạnh 4.2 độ Richter, 4.8 độ Richter, làm ảnh hưởng tới 9/10 huyện, thị trong toàn tỉnh.

Bảng 1: Các trận động đất ở Lai Châu xảy ra ngày 19-2-2001

Thời gian					Chấn tiêu		Độ sâu (km)	Mag. (Richter)	Cấp
Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	Vĩ độ	Kinh độ			
2001	2	19	22	52	21.33	102.84	12.3	5.3	7
2001	2	19	23	41	21.48	102.82	0.5	4.2	
2001	2	20	7	0	21.39	102.83	3.4	4.8	
2001	2	25	5	15	21.45	102.82	0.0	4.1	
2001	3	5	3	19	21.44	102.73	10.0	4.7	
2001	4	3	3	47	22.11	103.17	4.2	4.9	

* Trận động đất ở vùng núi Pú Nhung - Phương Pi

Cách thị trấn Tuần Giáo 11 km về phía Đông Bắc, xảy ra hồi 14h 18phút (giờ Hà Nội) ngày 24-6-1983. Đây được xem như trận động đất mạnh nhất đã xảy ra trên lãnh thổ Việt Nam.

- Độ sâu chấn tiêu 23 km gây chấn động cực đại trên mặt đất cấp 8-9 theo thang MSK-64.

- Cấp độ 6,7 độ Richter

- Thiệt hại nghiêm trọng về người và của kéo theo nhiều hiện tượng thiên nhiên đặc biệt như trượt lở núi; nứt đất; sụt đất; thay đổi mạch nước...

- Phạm vi ảnh hưởng của trận động đất gây ảnh hưởng mạnh ở những vùng rộng lớn thuộc Tây Bắc VN, Đông Bắc Lào và Nam Trung Quốc trong khoảng cách 250 km; ở khoảng cách 250 km Hà nội còn chịu chấn động cấp 5, cấp 6.

b. Phân tích các dao động có hại trong công trình xây dựng và cầu giao thông

Các công trình xây dựng [4-7,10,11]

Những thiệt hại về tài sản và tính mạng do bão gây ra ở Việt Nam rất lớn. Số liệu thống kê cho thấy hàng năm những tổn thất về mùa màng, hoa màu và tài sản, đặc biệt là công trình xây dựng ở các vùng bị ảnh hưởng của gió bão lên tới hàng trăm triệu đồng. Có thể nêu ra một vài con số điển hình trong vòng 25 năm lại nay để minh họa điều đó.

-Con bão Clara đổ bộ vào Nghệ Tĩnh tháng 10/1964 với tốc độ gió vượt quá 48m/s đã san phẳng 2.208 ngôi nhà ở huyện Kỳ Anh và thị xã Quảng Bình, làm hư hỏng 3782 ngôi nhà khác, gây sập đổ 28 trường học và 19 kho tàng.

-Con bão tháng 8/1975 đổ bộ vào Hà Nam Ninh đã làm cho gần 80% nhà ở của dân ở vùng tâm bão đi qua sụp đổ. Số còn lại bị hư hỏng nặng.

-Con bão NANCY đổ bộ vào Nghệ Tĩnh ngày 17/10/1982 có tốc độ gió trên 37m/s đã tàn phá nặng nề cả một vùng công nghiệp và dân cư rộng lớn của thành phố Vinh, làm chết và bị thương hàng trăm người, gây sập đổ 37.000 ngôi nhà ở của dân, 150.000 m² kho tàng và nhà xưởng. Trên 100 phòng học và 12 bệnh viện huyện tỉnh bị san phẳng. Toàn bộ hệ thống đê điều, kênh mương bị hư hỏng nặng. Hàng ngàn héc-ta lúa và hoa màu bị phá hoại.

-Hai cơn lốc xoáy xảy ra ở Hải Phòng vào tháng 4 và tháng 6 năm 1984 đã gây đổ nát nhiều nhà cửa của dân và kho tàng vùng bến cảng. Gần 70 người chết và mất tích. Thiệt hại tài sản ước tính 200 triệu đồng.

-Cơn lốc xoáy đổ bộ vào huyện Thạch Thành tỉnh Thanh Hoá ngày 20/9/1984 với bán kính hoạt động 3km nhưng đã tàn phá rất nghiêm trọng hoa màu và nhà cửa của dân trên một chiều dài di chuyển gần 50 km.

-Cơn bão CECIL xảy ra ở Bình Trị Thiên ngày 15/10/1985 là một thiên tai điển hình trong thế kỷ 20 ở địa phương. Gần 1000 người bị chết. Toàn bộ vùng dân cư rộng lớn kéo dài 200km bờ biển bị tàn phá nghiêm trọng. Hơn 70.000 nóc nhà của dân bị

[illegible]

8

Ở Việt Nam, bão không những phá hoại nhà ở, làm hư hỏng ruộng vườn của nông dân, nhưng nghiêm trọng hơn cả là làm thay đổi điều kiện sống của con người và sinh vật tạo ra những bất lợi về môi trường sinh thái mà hậu quả của nó đòi hỏi phải nỗ lực lớn trong một thời gian dài mới khắc phục được.

Các dạng phá hoại điển hình của nhà và công trình

Nghiên cứu sự hư hỏng và phá hoại công trình do bão gây ra cần phân tích trên hai phương diện, đó là:

- Cấu trúc của bão và tải trọng do nó gây ra.
- Khả năng chịu lực của cấu kiện và toàn bộ hệ kết cấu.

Thiếu những số liệu đo đạc tin cậy sẽ rất khó xác định một cách chính xác các thông số khác nhau của gió bão như phổ năng lượng, đặc trưng thành phần tần số, cường độ rối, hệ số giật, sự biến đổi của tốc độ theo điều kiện địa hình và theo độ cao.v.v.. Vì vậy phương pháp tốt nhất có thể sử dụng là đánh giá sự hư hỏng do bão gây ra để ước lượng tải trọng tác dụng lên công trình.

Các hiện tượng hư hỏng rất nhiều, nhưng ở đây chỉ đề cập đến một số dạng phá hoại quan trọng mà người kỹ sư quan tâm:

Phá hoại do áp lực gió quá lớn

- Bay chất lợp bằng tôn, phibrô ximăng, mái lá
- Gãy cầu phong, li tô, hư hỏng xà gỗ, dầm, dầm bằng tre, gỗ và thép
- Sụp đổ khung chịu lực và cột làm bằng tre, gỗ hoặc thép tại các tiết diện giảm yếu hoặc tiết diện có mômen lớn
- Nứt rạn hoặc sụp đổ khối xây gạch, xây block.

Phá hoại do các xung giật của tốc độ gió

- Phá hoại liên kết giữa chất lợp với xà gỗ
- Phá hoại liên kết giữa kết cấu mái với tường hoặc khung chịu lực
- Phá hoại liên kết giữa cột với móng
- Đổ tường hoặc nứt rạn tại các tiết diện giảm yếu như cửa di, cửa sổ, tường thu hồi.

Phá hoại do mất ổn định của kết cấu

- Biến dạng trong mặt phẳng của vỉ kèo và khung
- Mất ổn định ngoài mặt phẳng của hệ mái và hệ khung

Phá hoại do thay đổi sơ đồ làm việc của kết cấu trong lúc bão.

-Do trình tự phá hoại khác nhau của các kết cấu sự hư hỏng và biến dạng của bộ phận này dẫn đến thay đổi sơ đồ kết cấu của bộ phận khác so với sơ đồ tính toán ban đầu.

- Phá hoại của hệ mái dẫn đến thay đổi sơ đồ làm việc của hệ tường và khung
- Phá hoại của tường theo phương này làm thay đổi sơ đồ kết cấu tường theo phương kia

-Phá hoại các cây néo giằng dầm dẫn đến thay đổi sơ đồ làm việc của cột điện, đài, tháp.v.v..

Phá hoại do hiệu ứng xoáy của gió

- Phá hoại các góc mái và góc tường
- Phá hoại nhà có mặt bằng kiến trúc phức tạp.
- Phá hoại tường ở độ cao thu hồi (ở vị trí đặt các dầm trần).

Phá hoại do thay đổi mặt bằng và địa hình.

- Phá hoại do hiệu ứng dòng đối với công trình nằm ở vùng thung lũng.
- Phá hoại do thay đổi đột ngột về hướng và tốc độ gió khi gặp vật cản.

Phá hoại do chất lượng vật liệu xấu, kỹ thuật thi công không đảm bảo.

- Phá hoại nhà xây bằng gạch nung chất lượng thấp.
- Phá hoại nhà xây bằng gạch không nung sản xuất thủ công.
- Phá hoại khối xây có vữa chất lượng kém.
- Phá hoại do kỹ thuật xây trát không đảm bảo.

Nguyên nhân phá hoại công trình

- Nguyên nhân về tải trọng gió

Như đã phân tích ở trên, đặc trưng tác động của gió bão gây ra khác với tải trọng tĩnh của gió thông thường. Tuy vậy trong trường hợp quan niệm rằng tại một thời điểm nhất định, lực gió là lực tĩnh tác động lên công trình thì sự phân bố áp lực thực tế khác với sơ đồ phân bố dùng để tính toán trong quy phạm về tải trọng gió. Điều này được giải thích như sau:

-Đối với hệ mái tùy theo độ dốc, khả năng chọc thủng gió vào nhà, cường độ rối xoáy và biến đổi chiều của tốc độ, áp lực gió tác động lên mái có thể gây ra các sự cố. Tổ hợp phân bố áp lực trên có thể gây ra trạng thái ứng suất và biến dạng khác nhau của các cấu kiện ở từng thời điểm trong quá trình bão hoạt động và là nguyên nhân làm thay đổi trạng thái chịu lực và ổn định của từng thanh và hệ vế kèo.

-Ngoài áp lực đẩy, hút ở ngoài tường và khung, hiện tượng gió lùa qua lỗ với tốc độ lớn có khả năng làm thay đổi phương và chiều tác dụng, tạo ra sự phân bố áp lực bên trong mà thường không xét đến trong điều kiện bình thường.

-Những hiện tượng phá hoại liên kết giữa chất lợp với kết cấu mái, liên kết vế kèo với cột, tường, liên kết giữa xà gồ gác lên tường.v.v.. cho thấy chủ yếu do các xung giạt của tốc độ gió gây ra.

-Đối với các công trình đặc biệt (cột điện cao thế, tháp khí tượng, truyền thanh) thành phần áp lực động có thể gây ra dao động cưỡng bức với tốc độ tới hạn vượt quá tốc độ tính toán trung bình.

$$V_{th} = \frac{wD}{S} \geq v_{tb}$$

Trong đó w – tần số dao động riêng

D - Đường kính(hoặc khoảng cách giữa hai cạnh tách biệt).

S = Hệ số Strouhal (phụ thuộc vào hằng số Reynold)

-Nguyên nhân về thay đổi sơ đồ làm việc của kết cấu

Sơ đồ tính toán kết cấu và sơ đồ làm việc thực của công trình trong thời gian gió bão có thể khác nhau do trình tự phá hoại khác nhau của các cấu kiện. Điều này cũng rất dễ hiểu vì năng lượng của gió thay đổi theo thời gian và theo đặc trưng tần số dao động. Tại cùng một thời điểm và cùng một giá trị năng lượng những bộ phận giảm yếu độ cứng hoặc tập trung ứng suất bị phá hoại trước và từ sự phá hoại cục bộ dẫn đến sự phá hoại tổng thể. Chính do sự phá hoại xảy ra không đồng thời nên cơ cấu tác động của gió lên công trình sẽ thay đổi, ví dụ phá hoại mái trước dẫn đến thay đổi sơ đồ làm việc của khung, tường. Phá hoại dầm ngang làm thay đổi sơ đồ chịu lực của cột điện, tháp truyền thanh. Sự phá hoại của tường dọc, làm mất ổn định của tường ngang và ngược lại. Sự phá hoại của bộ phận này gây ra tích lũy biến dạng của bộ phận khác gây mất ổn định công trình như hệ khung, vòm kèo.

Cầu giao thông

Theo các số liệu thống kê của ngành giao thông vận tải thiệt hại do bão lũ gây ra là rất lớn. Mới bắt đầu mùa mưa bão năm 90 đã thống kê được trên quốc lộ 6, từ Sơn La đi Lai Châu bị sụt lở đến 20 nghìn mét khối, các đèo Sơn La Chiềng Pắc bị tắc giao thông ba ngày (từ 28 đến 30-6). Từ Nậm Cút đến thị xã Lai Châu tắc dài ngày... Trên hai tuyến này sụt lở và sập đến hơn 30 nghìn mét khối, cầu Nà Yên 2 trên tuyến Tuần Giáo - Điện Biên bị sập...

Một công trình lớn của ngành giao thông được xây dựng là cầu Bến Thủy (thành phố Vinh). Cuối năm 1989 cầu Bến Thủy đang trong giai đoạn thi công nước rút đã chịu hai cơn bão liên tiếp từ 3 đến 23-10-1989, cơn bão số 7 và số 9. Thiệt hại như sau:

- Nền đất bị trôi $14.000m^3$
- Lán trại kho xưởng bị sập, tốc mái $1000m^2$
- Nhịp dầm thép dài 53m bị xô dịch 1,5m so với trụ
- Xà lan, ca nô, giá búa bị trôi, lật, chìm 15 cái

Tác động chủ yếu của bão là sức gió thổi vào công trình, nhưng đại bộ phận các trận bão đều có kèm theo mưa to hoặc có mưa rất to kéo dài sau khi bão ngớt nên bão lũ phá huỷ các công trình xây dựng giao thông bằng cả hai sức mạnh gió và nước. Các dạng phá huỷ chủ yếu quan sát được như sau:

- Các cầu, cống vĩnh cửu

Các cầu cống vĩnh cửu và cả bán vĩnh cửu được xây dựng kiên cố, trọng lượng bản thân các bộ phận kết cấu tương đối lớn so với sức gió tác động lên chúng nên ít bị riêng sức gió phá hoại trừ các cầu treo. Nguyên nhân trực tiếp thường thấy là do nước lũ khi bão.

- Bão lũ trôi kết cấu nhịp cầu

Có những trường hợp nước tràn vượt mức cao do mặt cầu, nhịp cầu bị trôi ra khỏi vị trí và đổ về phía hạ lưu khi có bão lũ. Trong trường hợp đó sức nước đẩy ngang vào cộng với sức gió rất lớn, còn trọng lượng nhịp cầu lại bị lực đẩy ác-si-mét làm giảm đi. Nhịp cầu không còn đủ ổn định chống trượt, nếu không có các liên kết đủ mạnh để ghìm nhịp dầm xuống thân mố trụ thì sẽ bị nước đẩy trôi. Đây là trường hợp có thể xảy ra với các nhịp cầu thép.

- Bão lũ xói đất đầu cầu gây sập cầu

Cầu trên tuyến loại nhỏ ở nước ta có một số nơi áp dụng hệ khung 4 chốt kiểu mố nhẹ. Để giảm khối lượng xây mố, người ta xây thân mố thành 1 tường mỏng và lực đẩy của đất vào lưng mố được truyền vào dầm và thanh chống ở lòng sông và nhờ sự tác dụng đối xứng của hai bên mố cùng chịu lực đẩy như nhau mà hệ thống dầm – mố – thanh chống đứng cân bằng như một khung 4 khớp. Nhưng khi có bão lũ, gặp trường hợp nước tràn về quá mạnh, mức nước dâng tràn qua mặt cầu và mặt đường sẽ xói đất ở lưng mố làm cho trạng thái cân bằng nói trên bị phá huỷ và cầu sập đổ.

- Dòng nước lũ xói móng mố trụ cầu gây sập cầu

Những cầu có móng mố trụ đặt không đủ sâu, gặp khi bão lũ nước chảy xiết lớp đất lòng sông không chịu đựng nổi có khi bị xói tới mức trơ móng. Dưới tác dụng của trọng lượng bản thân cầu và sức đẩy của gió, nước, mố trụ không đứng vững được, bị nút đổ nghiêng đổ và làm sập cầu.

Đối với các trường hợp nói trên, khi thiết kế đã phải nghiên cứu để mức nước không thể tràn mặt cầu hoặc xói lở sâu quá mức cao độ đặt móng. Tuy nhiên có khi thiết kế không dự tính hết nên tình trạng trên vẫn xảy ra. Hiện nay môi trường thiên nhiên rừng càng bị phá nhiều có thể gây nên mức lũ lụt mạnh hơn dự tính, dẫn đến đe dọa các cầu cống vốn đã tồn tại an toàn từ trước.

- Gió bão phá hoại cầu treo

Cầu treo là một loại cầu được dùng rộng rãi ở nước ta. Tuy cầu có thể xây dựng đủ khoẻ để chịu tải trọng thẳng đứng của đoàn xe nhưng chịu gió bão thì yếu hơn nhiều so với các cầu kiểu dầm và dàn. Tải trọng đoàn xe truyền vào dây treo là chủ yếu nên dầm không phải cứng như cầu dàn. Dây treo lại chỉ chịu lực một chiều, khi lực tác dụng vào cầu hướng từ trên xuống thì dây làm việc, còn khi lực tác dụng vào cầu hướng từ dưới lên thì dây không làm việc. Vì thế khi gió bão, dầm mặt cầu có khi bị nâng lên cao do tác dụng khí động, bị xoắn vặn vẹo đổ, và khi rơi xuống làm cho các bộ phận cầu chịu những lực xung kích lớn làm nghiêng đổ, xô dịch cổng cầu, vỡ mặt cầu, gãy dầm, hư hỏng thanh treo dẫn đến phá hoại.

Các tình huống nguy hiểm khi công trình đang thi công dở dang gặp bão lũ

Các bộ phận công trình cầu lớn khi đã xây dựng xong thường ít bị bão lũ phá huỷ vì kết cấu vững chắc. Tuy nhiên, khi đang thi công dở dang, có bộ phận lại dễ bị phá huỷ riêng lẻ trong các trường hợp sau:

- Cọc móng cầu chưa có hệ liên kết các cầu cọc

Khi gặp bão lũ, nước tràn về mang theo các cây trôi và các vật trôi khác, va đập vào các cọc. Các cây trôi bị cài mắc vào đám cọc và nước đẩy cây, vụn gãy các cọc, trong khi chân cọc bị nước xói.

- Các giếng chìm đang hạ vào lòng đất nhưng chưa đến độ sâu thiết kế

Giếng chìm là khối lớn có kết cấu móng sâu, khi đã hạ đủ độ sâu cần thiết, giếng tựa vào đất ở mặt đáy giếng và các mặt chung quanh để chịu các lực tác động của công trình và trọng lượng bản thân giếng. Tuy vậy trong khi đang hạ, còn chưa đến độ sâu gặp bão lũ thì giếng rất dễ bị nghiêng lệch do các lực ngoài như nước chảy đất quanh giếng có thể bị xói không đều, trọng lượng thiết bị thi công ở trên v.v.. Đó là tình huống rất nguy hiểm đối với giếng đang thi công.

- Nhịp giàn cầu đang thi công

Mỗi nhịp dàn cầu có diện tích cản gió lớn, do đó lực gió bão thổi ngang cầu cũng lớn. Khi nhịp cầu đã làm xong, trọng lượng nhịp cầu thường đủ để lực ma sát giữa giàn và mố trụ và mô men ổn định chống lật đủ đảm bảo cho nhịp khỏi mất ổn định trượt và lật. Nếu có trường hợp trọng lượng giàn không đủ thì người ta có thể làm thêm liên kết nối giàn với mố trụ để giữ cho nhịp giàn chịu đựng được gió bão. Trái lại, trong quá trình đang thi công thì nhịp giàn chịu gió bão yếu vì lúc đó trọng lượng giàn nhẹ do chưa có mặt cầu; giàn còn đặt tạm trên các trụ chống nề kê cao trên mặt mố trụ cầu, khả năng chống trượt và chống lật yếu hơn so với lúc đã hoàn thành. Vì thế nếu gặp gió bão lớn có thể xảy ra sự cố như bị xô dịch trên mặt mố trụ, lật nhào xuống sông v.v..

- Các công trình tạm phục vụ cho thi công cầu cống đáng chú ý như các cầu tạm, đà giáo ván khuôn, vòng vây cọc thép, khung vây thùng chụp, phao nổi, cần cầu, giá búa v.v.. Các công trình này thường thiết kế theo tiêu chuẩn công trình tạm, khi gặp gió bão lũ thường rất nguy hiểm. Cầu tạm có thể bị trôi, đà giáo ván khuôn đổ vòng vây cọc ván thép hoặc thùng chụp có thể bị xói sập, đổ giá búa cần cầu, chìm phao v.v.. nếu không kịp thời di chuyển hoặc có biện pháp phòng chống thích hợp.

c. Phân tích, đánh giá thiệt hại do dao động của tàu hỏa và phương tiện giao thông

Thiệt hại trong ngành đường sắt

Những năm gần đây, trong ngành Đường sắt Việt Nam xuất hiện ngày càng nhiều loại khung giá chuyển hướng (cho đầu máy và toa xe) được sản xuất bằng công nghệ hàn ghép theo những thiết kế đã được sửa đổi từ nguyên mẫu nước ngoài cho phù hợp với đường sắt ở Việt Nam. Giá chuyển hướng (GCH) là bộ phận hết sức quan trọng và không thể thiếu trong các đầu máy, toa xe vận tải đường sắt, có nhiệm vụ mang một nửa tải trọng của xe và dẫn hướng thân xe chuyển động bám sát vào đường ray.

Với các GCH của đầu máy, ngoài nhiệm vụ dẫn hướng, chúng còn có nhiệm vụ phát động lực kéo cho đoàn tàu. Ngày nay, cùng với sự phát triển của ngành vận tải đường sắt, các GCH cũng có những thay đổi vượt bậc và rất đa dạng về chủng loại kết cấu, tính năng vận chuyển..... Tuy nhiên, tất cả các GCH dù cổ điển hay hiện đại đều có chung một số đặc điểm sau đây:

Các GCH bao gồm hai bộ phận quan trọng nhất: khung giá và trục - bánh xe (gọi tắt là trục bánh). Mỗi một GCH thường có hai bộ trục bánh, ngoại trừ những GCH của một số loại đầu máy có đến ba bộ.

Trong báo cáo này, chúng tôi chỉ đề cập đến những loại GCH do Việt Nam chế tạo trong thời gian gần đây và đặc biệt chú trọng vào loại GCH kiểu CKF7F của đầu máy "Đổi mới" do Trung Quốc sản xuất.

Giá chuyển hướng CC-1: đây là thế hệ GCH mới nhất được Việt Nam chế tạo và mới đưa vào vận hành trên tuyến Hà Nội - Lào Cai từ tháng 10/2003. Nó được thiết kế theo nguyên mẫu của Trung Quốc nhưng đã được sửa đổi kích thước và điều chỉnh vật liệu cho phù hợp với khổ đường, điều kiện vận hành và trình độ công nghệ chế tạo của nước ta. Trong vài năm tới, nếu vượt qua được thử thách của giai đoạn chạy thử nghiệm với đoàn tàu kéo đẩy DMU, loại GCH này sẽ được sản xuất loạt lớn và đưa vào vận dụng trên tuyến đường sắt Bắc - Nam.

Kết cấu của GCH CC-1 là loại khung cứng được chế tạo từ tấm thép hàn thành các dầm hộp. Hệ thống giảm chấn sơ cấp dùng lò xo cao su. Hệ thống giảm chấn thứ cấp, trung tâm là loại lò xo không khí có lắp xà nhún. Các bộ phận chính của khung giá (xà dọc và xà ngang) được chế tạo bằng thép tấm hàn thành dầm hộp và những khoảng rỗng của các bộ phận này được tận dụng làm bình chứa khí nén cho lò xo không khí. Ưu điểm nổi của loại GCH này là sự tương tác giữa thân xe và khung giá đã trở nên êm dịu hơn rất nhiều nhờ sử dụng lò xo không khí. Tuy nhiên, vì đây là loại GCH thiết kế cho tốc độ cao ($v > 100$ Km/h) nên chất lượng của hệ giảm chấn sơ cấp là vấn đề còn phải bàn. Nếu sự hoạt động của bộ phận giảm chấn này không tốt, bộ phận khung giá sẽ phải chịu những xung động rất khốc liệt khi tốc độ tàu chạy tăng lên.

Giá chuyển hướng kiểu CKD7F của đầu máy "Đổi mới"

Đây là loại GCH cho đầu máy mới nhất ở Việt Nam. Nó được Nhà máy chế tạo đầu máy Tư dương, Trung Quốc sản xuất trên dây chuyền tiên tiến theo những thiết kế tính toán trên những phần mềm hiện đại nhất của Viện cơ học thuộc Trường Đại học GTVT Tây nam, Thành đô. Loại GCH này được nhập về đồng bộ với loạt đầu máy "Đổi mới" D19E.

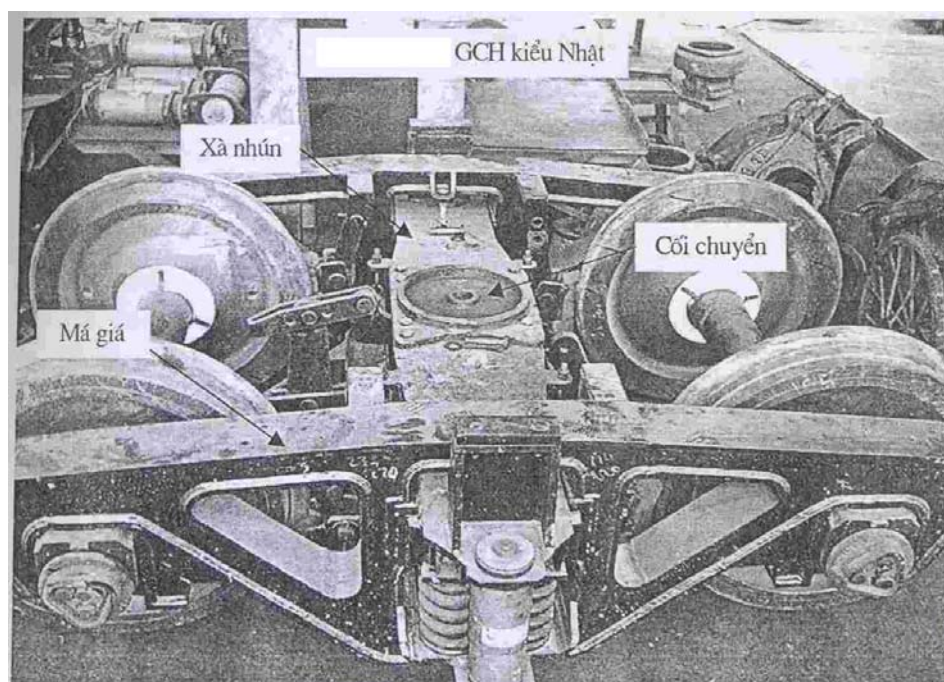
Các GCH hiện đang sử dụng trong ngành Đường sắt Việt Nam rất đa dạng về nguồn gốc, chủng loại. Với toa xe, các GCH có loại được nhập từ nước ngoài vào từ Ấn Độ, Rumani, Nhật Bản... và cũng có loại được sản xuất trong nước theo nguyên mẫu của nước ngoài nhưng đã qua chỉnh sửa để phù hợp với điều kiện đường sắt, trình độ công

nghệ chế tạo của Việt Nam. Với đầu máy, do nền công nghiệp chế tạo đầu máy của chúng ta còn quá non yếu nên hầu hết các GCH đều là nhập ngoại cùng với đầu máy. Chính vì vậy, công việc tính toán kiểm tra độ bền động ngay từ khi thiết kế các giá chuyển hướng gặp nhiều khó khăn. Mặt khác, vì nhiều lí do bất cập, việc phân tích, đánh giá và giám sát các loại giá chuyển hướng (GCH) này chưa được thực hiện thật đầy đủ và chặt chẽ sau khi chúng được đưa vào vận dụng, do đó đã có một số sự cố xảy ra như sau:

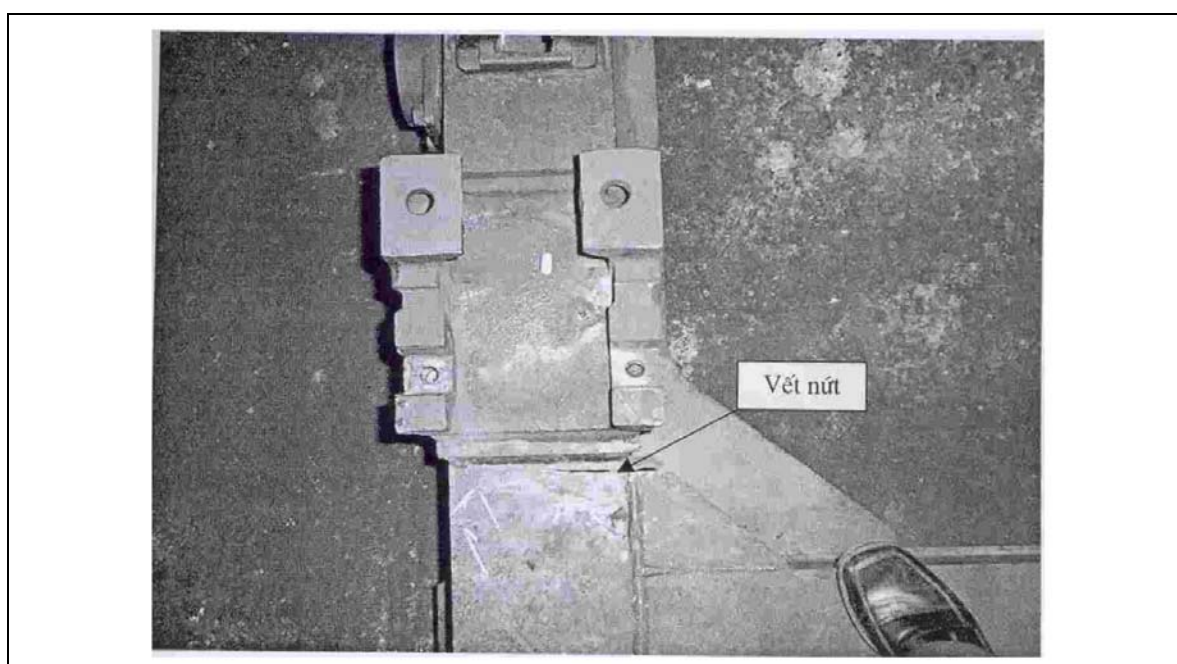
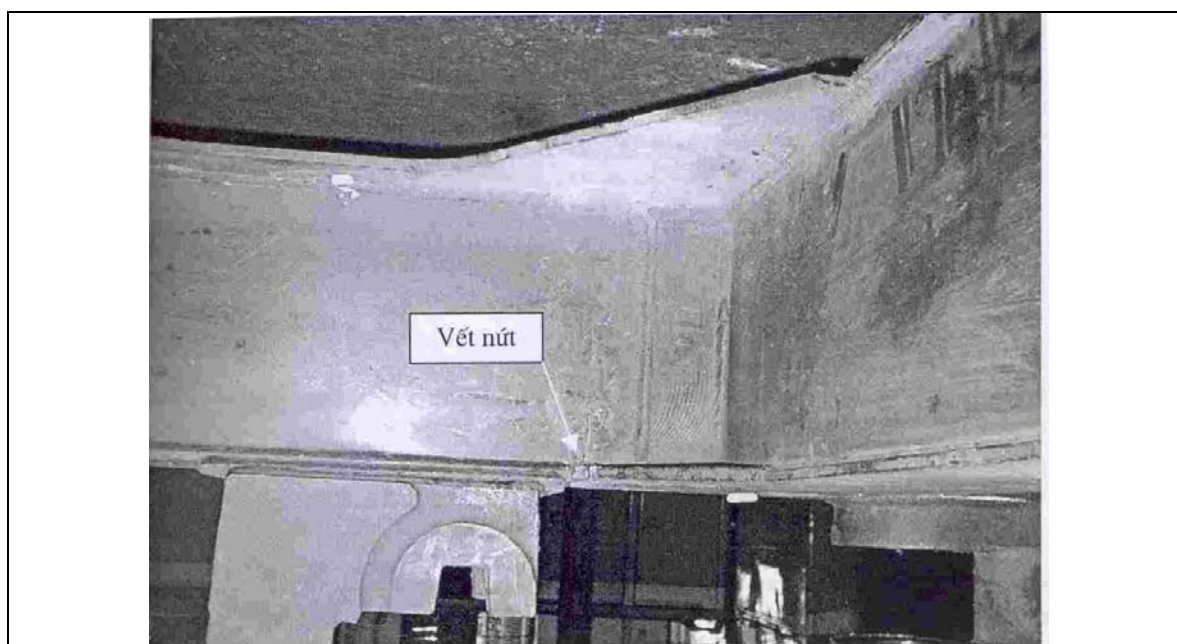
- Nút đầu xà dọc của GCH toa xe hàng do Việt Nam sản xuất.
- Nút giữa xà dọc của GCH đầu máy "Đổi mới" do Trung Quốc sản xuất.

Đặc biệt, sự cố này xảy ra trên cùng một loại GCH của hai đầu máy, tại cùng một vị trí như nhau. "Những hư hỏng nêu trên là dạng hư hỏng nghiêm trọng chưa từng xảy ra tại Đường sắt Việt Nam. Những hư hỏng đó của đầu máy Đổi mới trực tiếp đe dọa sự an toàn của chạy tàu và ảnh hưởng đến tình hình sản xuất kinh doanh của ngành." (theo văn bản Thông báo kết luận cuộc họp ngày 24 tháng 2 năm 2003 giữa Ban lãnh đạo ĐSVN với các chuyên gia Trung Quốc và các cán bộ của Viện Cơ học).

Theo yêu cầu phát triển của ngành Đường sắt, tốc độ chạy tàu và tần suất khai thác trong thời gian tới sẽ tăng cao, do vậy, các kết cấu chịu lực sẽ phải làm việc trong trạng thái khốc liệt hơn, nguy cơ xảy ra các sự cố nút khung GCH cũng sẽ ngày càng gia tăng.



Hình 1.5: Cấu tạo của GCH



Hình 1.6: Hình ảnh của một số vết nứt đo được

Sau gần một năm hoạt động trên thực tiễn đường sắt Việt Nam, hàng loạt GCH của đầu máy "Đổi mới" đã gặp sự cố. Các vết nứt đã xuất hiện tại cùng một vùng giống nhau trên xà dọc khung giá chuyển của những đầu máy vận hành trên tuyến Hà nội - Đà Nẵng. Vấn đề thực tế cho thấy: các thông tin có được từ các tính toán thiết kế phục vụ cho việc phân tích, đánh giá độ bền GCH là rất ít. Bên cạnh đó, những công trình nghiên cứu thực nghiệm về phân tích, đánh giá độ bền động cho các đối tượng GCH ở Việt Nam cũng hiếm khi được thực hiện.

Thiệt hại đối với đường giao thông

Sau đây là thống kê những thiệt hại do bão lũ gây ra đối với ngành giao thông vận tải từ năm 1985 đến 1989 đối với từng loại công trình xây dựng và phương tiện giao thông của ngành và đánh giá mức thiệt hại mỗi năm (Bảng 2)

Bảng 2: Thống kê những thiệt hại do bão lũ gây ra đối với công trình phương tiện giao thông vận tải trong những năm gần đây

Loại công trình giao thông	1985	1986	1987	1988	1989
Nền đường sạt lở(m ³)	475.867	480.000	159.079	461.420	1.207.970
Mặt đường hỏng(m ²)	1.782.162	370.000m ²	1.087.500	2.260.000	68.334
Cầu hỏng (cái)	168	150	32	79	19
Cống – ngầm (cái)	254	193	120	199	36
Cầu phao,phà trôi (m)				120	100
Bến phà bị bồi đắp(m ³)			17.000		
Tàu thủy,canô, xà lan(cái)	25	26	11	11	40
Đầu máy (cái)	1				1
Toa xe, ô tô (cái)	27				5
Xi măng (tấn)	95				424
Nhà ở nhà kho (m ²)	56.773	40.000	16.680	3.460	85.404

Đường ô tô, đường sắt

Mặt đường ô tô và đường sắt bị hư hỏng do bão lũ dưới các dạng phổ biến sau:

- Nước chảy theo rãnh dọc quá nhanh,xói hỏng đường. Thường xảy ra ở đoạn đường trên dốc núi, đường một bên địa hình cao bên kia có ao hồ sông suối, đường nơi có cống qua đường. Khi bão có kèm theo mưa to hoặc mưa rất to sau khi bão, nước chảy xiết trong các rãnh dọc đường. ở những chỗ rãnh thiết kế hẹp lẽ đường sẽ bị xói tới mức lan vào lòng đường và làm sập lớn mặt đường thành 1 hố lớn hoặc trôi đa ba lát ở đường sắt. Những chỗ bị xói như vậy còn có thể là ở chỗ có cống, chỗ rãnh nước đổ ra ao hồ. Trong những trường hợp rãnh nước không được dọn thông, rãnh tắc làm nước tràn qua mặt đường chảy sang phía bên kia đường nơi có địa hình thấp. ở đó khi nước giáng xuống sẽ phát sạt đường, từ mái lè đến phạm vi mặt đường.

- Nước dâng lên ngập đường, trong khi xe vẫn qua lại làm hư hỏng mặt đường hoặc cấu trúc tầng trên của đường sắt.

- Nền đường và mái taluy

Đường ô tô và đường sắt đi qua vùng đồi núi thường bị bão có kèm theo mưa thành lũ làm tắc giao thông vì nền mái taluy bị sập. Đường qua sườn núi rất phổ biến là đường một phía là núi, phía bên kia và vực hay bờ sông suối. Cả hai mái taluy ở phía núi và phía vực thường bị sạt trượt khi mưa bão. Sau nhiều ngày mưa với lưu lượng lớn, nước mưa hoà tan đất đá tạo thành bùn lỏng từ đỉnh núi hoặc từ mặt taluy trút xuống lấp mặt đường.

d. Phân tích các dao động có hại trong các máy năng lượng, cơ khí

Tình hình hư hỏng trên các công trình đường dây tải điện và trạm biến áp

Do ảnh hưởng của cơn bão, hầu hết các đường dây tải điện không ít nhiều đều bị hư hỏng. Có những đoạn đường dây dài hàng chục ki-lô-mét các cột điện đều bị đổ gãy, phải xây dựng lại hoàn toàn như mới (đường dây Đông Hà-Vĩnh Linh). Theo thống kê cơn bão số 8 đã làm đổ gãy 650 cột, đổ nghiêng 582 cột, 526 xà bị gãy, gần 6000 bát sứ bị vỡ, trên 20 tấn dây bị đứt hỏng, 4 trạm trung gian 35/6/10 Kv và 11 trạm 6-10/0,4 Kv bị hư hại phải sửa chữa.

Hiện tượng hư hỏng có thể phân ra như sau:

1-Đường dây 110 Kv ít bị hư hỏng, chỉ chiếm khoảng 10%. Các cột dùng móng thanh ngang tại nơi đất ngập nước đều đã bị lật đổ cả cột lẫn móng. Những nơi dùng kiểu móng khối, cột bị gãy ngay trên đường dây 110 Kv đều là cột bê tông ly tâm, còn các loại cột thép, cột néo, cột vượt. . v.v.. đều đứng vững.

2-Đường dây 35 Kv hư hỏng nghiêm trọng. Đường dây 35 Kv Đông Hà-Vĩnh Linh được thiết kế loại cột bê tông ly tâm cao 18 mét, xà bê tông cốt thép, móng thanh ngang và móng khối. Qua trận bão, đường dây này có 128 cột thì có 91 cột bị đổ gãy(chiếm 71%), các cột dựng ở vùng ngập nước đều bị đổ, móng bị lật, các cột ở trên đồi đều bị gãy tại chân cột, một số bị gãy ở đoạn ngọn.

Đường dây 35 Kv Mỹ Đức-Vĩnh Linh dùng cột vuông bê tông cốt thép đúc thủ công cao 14m và 16m, đường dây này bị đổ khoảng 30% và phần lớn bị gãy tại chân cột.

Đường dây Nam Lý-Mỹ Đức cũng dùng cột vuông bê tông cốt thép đúc thủ công cao 14m và 16m chỉ đổ 2 cột, hư hại không đáng kể.

Một điểm cần lưu ý, các cột có dây néo đều đứng vững chỉ trừ một cột néo thẳng vượt sông Bến Hải do néo không đúng qui cách.

3-Các đường dây 6,10;15 Kv được thiết kế cột vuông bê tông cốt thép cao từ 8,5 đến 10 m. Các cột bị hư hỏng ít so với đường dây 35 Kv (chỉ chiếm khoảng 15%). Riêng một số đường dây vùng Thuận An bị sóng thần kéo trôi luôn cả cột và móng. Đường dây 6 Kv trong thành Huế do cây làm gãy một số cột.

4-Các trạm biến áp:

Trạm trung gian 35/10 Kv, Hội Yên, Bến Hải, thành phố cổ Quảng Trị và trạm 35/6 Kv đều hư hỏng các thiết bị bảo vệ thiết bị đo, riêng trạm Mỹ Đức bị cả hàng rào trạm.

Các trạm 6-10/0,4 Kv có 11 trạm bị hư hỏng phần cao áp hoặc hạ áp.

Tình hình thiệt hại của đường dây tải điện trên không qua các trận bão lớn

- Cột điện sông Tiền cao gần 80m đưa điện về miền tây đồng bằng sông Cửu Long bị gãy đổ cột ở phía Mỹ Tho thẳng góc với hướng gãy kéo theo cột ở phía Cửu Long gãy theo, phải làm lại tốn gần 3 tỷ đồng, không sử dụng được điện của thủy điện Trị An cho miền Tây, gây thiệt hại hàng ngày từ 80-100 triệu đồng trong thời gian gần 3 tháng. Nguyên nhân có nhiều nhưng quan trọng là không bảo đảm đánh chết ren các

bu lông, bảo đảm cho bu lông không bị lỏng ra làm rơi các thanh hoặc làm cho kết cấu không đủ sức chịu lực lúc gió to, tác động năm này qua năm khác đã làm hỏng các ecru, đai ốc lúc có gió lớn (chưa hẳn đã là bão thật lớn) đã bứt bu lông ra, có thể làm tuột các thanh ra. Đã có tính toán cho thấy trong 8 trường hợp khác nhau trong đó một trường hợp chỉ có một thanh bị mất cũng đủ dẫn tới cột bị đổ vì một số thanh mất ổn định hoặc có cường độ vượt quá cho phép. Hiện tượng các cột điện, cột thông tin, cột phát thanh bị mất bu lông, mất thanh do có người cố ý lấy trộm, hoặc do không duy tu quản lý thường xuyên để xiết chặt các bu lông lỏng kịp thời, cũng như hiện tượng dây néo bị lỏng, bị chặt trộm v.v... thường xảy trên dọc các tuyến điện, thông tin có khả năng gây sập đổ các công trình.

Năm 1982 –1983 một số tỉnh miền Trung và vùng ven biển bị bão lũ, Nghệ Tĩnh, Thanh Hoá bị những cơn lốc lớn, diện phá hoại hẹp nhưng sức tàn phá ghê gớm, cơn bão số 8 năm 1983 đổ bộ vào Quảng Bình, Quảng Trị – Thừa Thiên (Huế) làm gãy đổ 1.250 cột, trong đó có 27 cột của đường dây 110kV Đồng Hới –An Lão. Cơn bão số 5 năm 1986 đổ bộ vào Thái Bình và Hà Nam Ninh làm gãy đổ hàng ngàn cột. Riêng đường dây 110kV Tiên Hải- Long Bối bị đổ 53 cột, trong đó có một cột thép. Bão làm đổ cột thép như vậy là hiện tượng chưa từng có từ trước tới nay. Đường dây 110kV Ninh Bình-Bỉm Sơn II và Ninh Bình – Trịnh Xuyên bị đổ 11 cột bê tông li tâm. Đường dây Rịa - Hà Đông 4 cột thép có dây néo chưa căng dây cũng bị đổ, đường dây 110kV Hải Dương- Phố Cao bị đổ 10 cột.

Sau đây, chúng tôi sẽ phân tích những thiệt hại của đường dây tải điện trên không qua 2 trận bão lớn:

Sự thiệt hại của đường dây tải điện qua cơn bão số 8 tại Bình Trị Thiên (năm 1985)
Hai cơn bão số 7 và số 8 tràn vào Bình Trị Thiên cách nhau chưa được 1 tháng đã làm tê liệt lưới điện vùng này. Sự thiệt hại cụ thể như sau:

Đường dây hạ thế 0,4kV

Lưới hạ thế phân lớn nằm trong thành phố, sự thiệt hại do cây đổ gây nên làm cho 217 cột gãy và 232 cột bị đổ nghiêng.

Đường dây 6,10kV

Trong tổng số 161 cột bị đổ và 103 cột bị nghiêng thì tại Huế đã có 136 cột bị đổ và 48 cột bị nghiêng.

Đường dây 35kV

Tổng chiều dài các đường dây có cấp điện áp 35kV của Bình Trị Thiên tính cho đến khi xảy ra cơn bão số 8 là 161km với trên 1.600 vị trí cột. Bão đã làm gãy 218 cột 247 cột bị đổ nghiêng. Trong tổng số 218 cột gãy có 48 cột bê tông li tâm, còn lại là 170 cột vuông bằng bê tông cốt thép đúc sẵn.

Thiệt hại nặng nhất ở vùng tâm bão đi qua, đường dây 35kV Đông Hà - Vĩnh Linh với chiều dài 30km, kết cấu cột dùng loại cột bê tông li tâm cao 18-20m, 24 cột đã bị đổ gãy và 41 cột khác bị nghiêng.

Đường dây 35kV Mỹ Đức- Vĩnh Linh với chiều dài 45km 167 cột đã bị đổ và 35 cột khác bị nghiêng. Kết cấu của đường dây này dùng cột vuông bằng bê tông cốt thép đúc tại chỗ, các cột đổ gãy ngay sát mặt đất.

Nghiên cứu xem xét tại thực địa 2 đường dây nói trên, ta nhận thấy các dạng phá hoại công trình thể hiện khác nhau. Cột bê tông li tâm cao 18-20m dùng dây AC90 trên tuyến Mỹ Đức- Vĩnh Linh đều bị lật đổ móng. Phá hoại của móng ở dạng không lật cả móng mà bị bật lõi móng(móng bị gãy cổ móng).

Tuyến Huế- Thuận An, đoạn gần cửa Thuận bị phá hoại nặng. Bão kết hợp với thủy triều làm xói lở móng gây nên đổ cột.

Đường dây 110kV (tuyến Đồng Hới - Huế)

Công trình này đang thi công, có đoạn đã căng dây, có đoạn chưa căng dây thì bão áp tới, 12 cột bị gãy gốc và 215 cột gãy ngọn, khoảng 80 cột bị nghiêng, các cột bị nghiêng phần lớn là cột không móng chỉ có thanh ngang, các cột này đặt trên nền đất pha cát, đất rất chặt nhưng khi bị ngập nước thì xảy ra biến dạng khá lớn, nên cột bị nghiêng.

Sự thiệt hại công trình đường dây tải điện trên không qua cơn bão số 8 năm 1985 ở Bình Trị Thiên có một số nét chung là:

- Cột có dây néo chỉ bị biến dạng, không cột nào đổ do dây néo bị đứt.
- Các cột thép đều đứng vững.
- Cột bị lật móng xảy ra ở đường dây 35kV, gãy cổ móng xảy ra ở đường dây 110kV.

Sự thiệt hại của đường dây tải điện qua cơn bão số 5 tại Thái Bình, Hà Nam Ninh (năm 1986)

Cơn bão số 5 năm 1986 đổ bộ vào Thái Bình, Hà Nam Ninh tàn phá trên diện rộng. Sức phá hoại mạnh không kém cơn bão số 8 năm 1985 ở Bình Trị Thiên. Hàng ngàn cột điện đường dây hạ thế và đường dây cao thế có cấp điện áp từ 6,10,35,110kV bị hư hại. So với Bình Trị Thiên thì ở 2 tỉnh Thái Bình và Hà Nam Ninh có công trình đường dây tới cấp điện áp 110kV được xây dựng nhiều hơn. Qua trận bão số 5 công trình đường dây này đã bị tàn phá nặng nề. Dưới đây chúng tôi chỉ nêu lên những thiệt hại của các đường dây 110kV.

-Đường dây 110kV tuyến Ninh Bình – Trịnh Xuyên và tuyến Ninh Bình – Bím Sơn II bị đổ 10 cột bê tông li tâm.

-Đường dây 110kV tuyến Hải Dương- Phố Cao bị đổ 10 cột (áp lực gió tại thời điểm đó lại chưa đạt tới áp lực gió được chọn để thiết kế: 110 daN/m² ở độ cao 20 mét).

-Đường dây 110 kV Tiền Hải – Long Bối bị hư hại nghiêm trọng hơn cả vì nằm trong vùng ven biển có trung tâm bão đi qua. Đường dây tải điện này dài 30 km, trong 140 vị trí cột thì đã hư hại 53 vị trí (trong đó có 1 cột thép đỡ thẳng C110- 3 và 1 cột néo góc bằng bê tông li tâm) đã bị nhỏ, gãy. Tất cả các cột bị hư hại nằm trong khoảng từ C5 đến C11 tức là từ vị trí 17 đến vị trí 83 của đường dây.

Các hư hại của đường dây tải điện nêu trên chia thành 3 dạng sau:

-Chân cột bị gãy, vỡ ngang mặt móng(11/53 trường hợp)

-Cột bị bong, trôi lên hồ móng cột(17/53 trường hợp)

trong đó, có cột đã bị rút ra hồ móng và nằm cách xa chân móng 1-2m.

-Thành móng cột bị vỡ hỏng(25/53 trường hợp).

Cột đổ làm hư hỏng xà làm võ hầu hết sứ cách điện và cắt nhiều đoạn dây tại điểm mắc vào khoá bị chèn phân nhôm lại. Tuy vậy, trong tất cả các đoạn đường dây bị đổ

cột, nhưng dây dẫn và dây chống sét vẫn không bị đứt. Tình hình thiệt hại nêu trên cho thấy: Bão là một loại thiên tai rất nguy hiểm, sức phá hoại của bão thật là khủng khiếp đối với công trình đường dây dẫn điện trên không.

Nguyên nhân hư hại đối với đường dây tải điện

Qua 2 cơn bão lớn số 8 năm 1985 và số 5 năm 1986 kể trên công trình đường dây tải điện trên không đã bị hư hại nghiêm trọng là vì:

- Bão gây ra áp lực gió lớn hơn áp lực gió thiết kế.
- Chất lượng công trình kém, thể hiện ở các khâu:
 - + Sản xuất cột bê tông li tâm
 - + Thi công không đảm bảo chất lượng
 - + Khảo sát, thiết kế còn chưa chú ý đầy đủ.

Dưới đây chúng tôi sẽ phân tích cụ thể từ đó rút ra những bài học kinh nghiệm và đề ra những biện pháp phòng chống bão cho công trình đường dây tải điện trên không trong những năm tới.

Nguyên nhân thứ nhất

Do bão gây ra áp lực gió lớn hơn áp lực gió được chọn để thiết kế theo tiêu chuẩn Nhà nước hiện hành.

Cơn bão số 8 năm 1985 qua 81 năm mới lại xuất hiện ở Bình Trị Thiên, sức gió vùng trung tâm bão cấp 12. Cơn bão số 5 năm 1986 có sức gió cấp 12, gió giật trên cấp 12. Tại Trạm khí tượng Thái Bình đã đo được vận tốc gió lên tới 46m/s, sau đó chỉnh cột đặt máy đo gió bị gãy. Theo dự đoán vận tốc gió tại thị xã Thái Bình có thể lên tới 48-50 m/s. Cơn bão này tương đương với cơn bão xảy ra năm 1929(cách đó 57 năm). Như vậy vận tốc gió của bão đã vượt qua áp lực gió ở chu kỳ đã chọn(thiết kế theo quy phạm với chu kỳ 10 năm) để tính toán thiết kế cho kết cấu đường dây tải điện. Ví dụ : Công trình đường dây 110kV Tiền Hải – Long Bối được thiết kế với vận tốc 38m/s (cho dây dẫn) và 42 m/s (cho dây chống sét).

Mặc dù vận tốc gió vượt cấp thiết kế, nhưng mặt khác cũng phải thấy những nguyên nhân khác đã làm tăng thêm sức thiệt hại cho đường dây tải điện. Nếu các công tác khảo sát, thiết kế, sản xuất cột, thi công xây lắp... được chú trọng đảm bảo chất lượng tốt thì ta sẽ có thể hạn chế thiệt hại một cách đáng kể.

Nguyên nhân thứ hai

Chất lượng công trình kém. Đây là nguyên nhân do chủ quan. Trong bài viết này đã đi sâu phân tích một số vấn đề chủ yếu và công trình điển hình sau đây:

Về chất lượng cột bê tông li tâm

Cột bê tông li tâm là loại kết cấu trụ được sử dụng nhiều nhất, với số lượng lớn nhất trên các tuyến công trình đường dây tải điện trên không. Nhưng chất lượng cột sản xuất tại các nhà máy trong thời gian qua vừa không ổn định, vừa không đảm bảo chất lượng. Từ đó dẫn đến tính chịu lực của cột kém. Năm 1986, đã tiến hành khảo sát năng lực sản xuất và chất lượng sản phẩm cột bê tông li tâm tại 4 nhà máy:

- Nhà máy bê tông đúc sẵn Hà Nội (Chèm) Bộ Xây dựng;
- Nhà máy bê tông đúc sẵn Biên Hoà (miền Nam) Bộ Xây dựng;
- Nhà máy cột bê tông li tâm An Giang, Bộ Năng lượng;
- Xí nghiệp đúc trụ điện li tâm, Sở Xây dựng thành phố Hồ Chí Minh.

Qua khảo sát cho thấy:

- Chỉ có Nhà máy bê tông đúc sẵn Hà Nội là có phòng thí nghiệm để kiểm tra chất lượng của các loại vật liệu cho việc đúc cột bê tông li tâm. Ba nhà máy còn lại không có phòng thí nghiệm.

- Chưa có nhà máy nào quy trình sản xuất mà chỉ dựa vào kinh nghiệm như việc sử dụng cốt thép, sử dụng bộ điều khiển tốc độ quay theo từng giai đoạn. Phần lớn điều chỉnh tốc độ quay của khuôn cột theo điện trở nước nên chủ yếu dựa vào kinh nghiệm. Tốc độ và thời gian quay của khuôn cột tại các nhà máy không đạt tiêu chuẩn là 18 phút mà đại bộ phận chỉ có 10 phút.

- Chọn cốt liệu, đặc biệt là đá dăm không đúng quy cách và tỷ lệ cỡ hạt.

- Cốt thép đai của cột dùng thép kéo nguội chỉ duy nhất có Nhà máy Bê tông đúc sẵn Hà Nội là thực hiện được, các nhà máy còn lại dùng cốt pha đai $\phi 6$ AI cán nóng.

- Các nhà máy đều không thực hiện ký hiệu theo thiết kế quy định nên đã xảy ra có trường hợp nhầm chủng loại cột.

Những điều nêu trên rõ ràng là nguyên nhân dẫn tới chất lượng cột bê tông li tâm kém, không đảm bảo tính chịu lực của cột theo tính toán, thiết kế, khi chịu tác động của bão, cột đổ gãy là điều dễ hiểu.

Đường dây 110kV tuyến Tiên Hải – Long Bối đã được thiết kế với áp lực gió là 110N/m² ở độ cao 20m, chọn dùng lại cột bê tông li tâm CT-20đ. Loại cột này ở đoạn gốc đặt 24 thanh 16 loại thép AIII ($R_a=3400$ daN/cm²). Nhưng trên thực tế, các cột bê tông li tâm bị gãy sát mặt móng ở đường dây này lại dùng thép AI và bố trí 18-24 thanh $\phi 16$ và $\phi 22$ bê tông chỉ đạt xấp xỉ số hiệu 300 (theo thiết kế quy định dùng số hiệu 400), hai đầu thanh thép AI không được uốn móc.

Việc dùng thép AI thay cho thép AIII mà vẫn giữ nguyên tiết diện thép và số lượng thanh thép là một sai lầm lớn. Do tăng số lượng thanh thép đã làm cho khe hở giữa 2 thanh hẹp lại, bê tông không thể lấp đầy khắp tiết diện cột các viên đá cỡ 2cm không lọt qua khe hở mà xếp thành lớp, gây nên tình trạng làm việc không đồng đều tại phần chịu nén của tiết diện tính toán, gây ra phân bố lại ứng suất của cột, khả năng chịu lực của cột do đó bị giảm.

Về chất lượng thi công tại hiện trường

Thi công xây lắp tại hiện trường có nhiều sai sót sẽ dẫn tới chất lượng thi công không đảm bảo, làm suy giảm độ bền của kết cấu. Qua khảo sát tại thực địa các trận bão lớn chúng tôi nhận thấy phía thi công vẫn còn có những sai sót đáng kể, cần được rút kinh nghiệm.

- Cốt liệu của bê tông không thực hiện đúng yêu cầu kỹ thuật, đá không đúng kích thước, không được rửa sạch. Nước dùng trộn bê tông không qua thí nghiệm để xem có dùng được hay không? Lượng xi măng bị giảm lại không đảm bảo chất lượng, có trường hợp xi măng để lâu bị đóng cứng vẫn cho sử dụng để thi công, làm cho số hiệu bê tông bị giảm. Trên tuyến đường dây 110kV Tiền Hải- Long Bối có 17 cột bê tông lõi tâm bị lật ra khỏi hố móng. Sau khi kiểm tra nghiệm toán, chúng tôi nhận thấy, hố móng cao 1m chèn bằng bê tông sỏi nhỏ M.200 có cường độ chịu kéo (đỉnh kết) $B_{12}=7,5 \text{ daN/cm}^2$. Lực nhổ bật chân cột khỏi hố móng là $R_1 = 3,5 \text{ daN/cm}$, $7,5 \text{ daN/cm}$, thiết kế đủ an toàn. Từ đó, suy ra cột bị nhổ khỏi hố móng là do bê tông chèn không đạt cường độ thiết kế. Các cột rút ra khỏi hố móng, nhưng mặt chân cột vẫn nhẵn, càng chứng tỏ chất lượng bê tông chèn chân cột với móng rất kém.

- Đặt thiếu cốt thép ở phần cổ móng, khi gặp bão cổ móng bị vỡ dẫn đến cột bị đổ, kéo theo xà, sứ, phần ngọn của cột bị gãy. Hiện tượng này rõ nhất ở đường dây 110kV tuyến Tiền Hải – Long Bối xảy ra 25 trường hợp, ngoài ra còn xảy ra tại đường dây 110kV tuyến Huế - Đồng Hới, Hải Dương – Phố Cao. Qua cơn bão số 5 (năm 1986) hàng loạt cổ móng bị vỡ; đã phải tiến hành kiểm tra lại và nhận thấy: chất lượng bê tông không đạt số hiệu 200 như thiết kế quy định, cốt thép dọc đặt đủ, nhưng cốt đai đặt thiếu dẫn đến tình trạng phá hoại như trên.

- Thi công trong vùng bão mà chưa quan tâm đầy đủ đến việc neo giữ và chống đỡ sau khi lắp dựng, nên đã xảy ra trường hợp cột dựng lên chưa kịp căng dây bão ập đến, cột bị đổ ngay.

- Các cột có dây néo, phía thi công thường chỉ căng dây theo kinh nghiệm, không có dụng cụ đo cần thiết. Do đó việc căng dây không đồng đều và căng chưa đạt tới trị số lực căng ban đầu, chỉ gió mạnh đã đổ cột (đường dây 220kV tuyến Hà Đông – Rịa).

- Thi công đã bỏ qua phần đất đắp bảo vệ trên mặt móng cột và móng néo như thiết kế đã quy định (200 - 300mm) hiện tượng này rất phổ biến trên các tuyến đường dây và tường chắn không ảnh hưởng gì, nhưng thực ra nó đã gây tác hại không nhỏ, đã làm giảm khả năng chống lật khi cột chịu tác động của ngoại lực, đặc biệt là đối với loại cột chôn không móng thanh ngang trên các tuyến đường dây có cấp điện áp 35kV. Ngoài ra, còn có những nguyên nhân khác như thi công nhầm chủng loại cột, vận chuyển và bốc dỡ cột không đúng quy định, xi măng, sắt thép bị thất thoát v.v... cũng làm ảnh hưởng tới chất lượng công trình.

Về khảo sát thiết kế

Các trận bão lớn gây nên nhiều sự cố trên công trình đường dây tải điện trên không có nguyên nhân khảo sát và thiết kế cần được rút kinh nghiệm như sau:

- Đề án thiết kế một số công trình đường dây tải điện dựa trên những tài liệu cơ sở (đặc biệt là tài liệu địa hình, địa chất và địa chất công trình) chưa thật chính xác. Do đó, đã đề ra giải pháp nền móng không phù hợp với tuyến công trình nằm trong vùng ven biển thường gặp bão. Thực tế ở Bình Trị Thiên qua cơn bão số 8 năm 1985 hàng

loại cột chôn không móng có tăng cường thanh ngang của đường dây 35kV đã bị đổ kéo theo móng bị lật, thanh ngang không phát huy được tác dụng chống lật trong nền đất yếu.

- Có trường hợp, tính toán thiết kế, chọn sơ đồ cột, khoảng cách cột v. v.. chưa hợp lí. Điển hình là đường dây 35kV tuyến Đông Hà - Vĩnh Linh đã thiết kế cột bê tông li tâm cao 18- 20 mét sứ chuỗi, 3 dây dẫn đều đưa lên ngọn cột để tăng thêm độ võng cho thép, từ đó mà kéo dài thêm khoảng cột lên tới 250m làm cho mômen uốn tại chân cột rất lớn, thậm chí lớn hơn so với đường dây có cấp điện áp 110kV. Vì vậy, đường dây này mới gặp bão cấp 10 năm 1983 đã bị đổ một số cột, cơn bão số 7 năm 1985 với cấp gió thấp hơn so với cấp gió thiết kế cũng đổ một số cột, đến cơn bão số 8 thì đổ hàng loạt rất nghiêm trọng. Xét về kinh tế kĩ thuật thì sử dụng cột bê tông li tâm cao 18 – 20m cho đường dây 35kV là không hợp lí. Việc xác định khoảng cách hợp lí cho từng loại cột theo từng cấp điện áp cho công trình đường dây tải điện trên không đang là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu.

- Phía thiết kế chưa bám sát hiện trường để phát hiện những điểm chưa phù hợp với thực tế và tài liệu cấp ban đầu để điều chỉnh kịp thời. Còn chủ quan trong khâu kiểm tra kĩ thuật dẫn đến một số trường hợp đề án thiết kế không ăn khớp.

Tóm lại, bão gây ra những thiệt hại nặng nề và nghiêm trọng cho công trình đường dây tải điện. Nhưng nếu công trình khảo sát ,thiết kế và thi công đảm bảo chất lượng thì mức độ thiệt hại giảm đi rất nhiều. Cùng chịu áp lực gió như nhau, thiết kế như nhau, cấp điện áp như nhau, còn đường dây tuyến Nam Lý- Mỹ Đức chỉ có 2 cột bị nghiêng nhẹ, chứng tỏ đường dây tuyến Nam Lý – Mỹ Đức có chất lượng công trình tốt hơn, nên chống bão tốt hơn.

Ảnh hưởng của dao động lên công trình và con người

- Sự cố bể chứa nhà máy nước Thủ Đức

Bốn bể chứa nước sạch Nhà máy nước Thủ Đức (thị trấn Thủ Đức) thành phố Hồ Chí Minh có dung tích tổng cộng 260.000m³ (bể số 1 và 2: 2x40.000m³; bể số 3 và 4: 2x90.000m³), do hãng Hydrotechnic Corporation (U.S.A) thiết kế và các hãng Hawain Dredging(U.S.A), Dragagen(France) xây dựng.

Các bể này được xây dựng từ năm 1963 đến 1968. Ngay sau khi xây dựng xong đã có hiện tượng rò rỉ nước quá mức cho phép và đến nay cả 4 bể đều bị hư hỏng nặng, lượng nước thất thoát trong một ngày đêm lên tới 20-30% sức chứa tổng cộng.

Do 4 bể đều được thiết kế theo một nguyên lý và thi công theo các phương thức tương tự, bài viết này đề cập đến việc phân tích nguyên nhân sự cố và biện pháp sửa chữa một bể số 3 và gọi tên bể là bể chứa Nhà máy nước Thủ Đức.

Quy mô và đặc điểm công trình

Bể chứa nhà máy nước Thủ Đức được xây dựng trên một khu đồi với kích thước 255,65x73,66x8,56m bê tông cốt thép mác 200. Bể được thiết kế theo dạng kết cấu

mềm: đáy (phẳng và vách nghiêng) không chịu được áp lực lớn, được cấu thành từ các tấm bê tông cốt thép kích thước 9x12m và 6x9m dày 15cm, có một lớp thép ϕ 9,6 a 200 đặt ở giữa tấm, các tấm đáy nối với nhau bằng các gioăng cao su; nắp bể là các tấm panen 6x1,2m gác lên thành đứng (bê tông không liên khối với đáy bể) và hệ dầm ô cờ 9x6m; Hệ dầm này đặt trên lưới cột 9x6m và cột đặt trực tiếp lên nền đất (không liên với bản đáy), khe hở giữa cột và bản đáy cũng được chèn kín bằng gioăng cao su. Cột nước sử dụng cao 8m; áp lực nước ngầm được khử bởi hệ thoát nước ϕ 300 và ϕ 600, đặt cách đều 9m, nằm sâu dưới đáy bể (tính từ mép dưới bản đáy tới tim ống) 350-450.

-Dựa theo hình vẽ, có thể lần lượt mô tả cấu tạo và kích thước cơ bản của các cấu kiện bể như sau:

- *Nắp bể:*

Panen

Panen có 2 sườn dọc, kích thước bản panen: 1,2x6x0,05m; sườn: 0,35x6x0,15m. Các tấm panen nắp bể liên kết với nhau và với dầm đỡ chúng bằng mối nối ước thông thường (để thép chờ rồi chèn bê tông).

Để chống thấm, người ta đã dán 3 lớp vải nhựa tổng hợp trên toàn bộ nắp bể.

Hệ dầm đỡ panen

-Tiết diện dầm: 0,70x0,85m

-Nhịp dầm: 9 m

-Khoảng cách giữa các dầm: 6m

Các dầm được đúc sẵn từng nhịp (9m), rồi nối với nhau và nối với cột bằng mối nối ước. Toàn bộ hệ dầm tựa trên cột và thành đứng của bể.

-Thành đứng của bể

Băng bê tông cốt thép liên khối. Thành có nhiệm vụ đỡ panen nắp bể và chịu áp lực nước(phân phía trên)

-Tiết diện ngang thành : 0,25x2,2m

-Móng thành rộng : 1,2m

-Dây : 0,25m

Cứ khoảng 70m dọc chiều dài thành(chu vi bể) lại có một mạch co dẫn bằng gioăng cao su. Thành đặt trên nền đất không đều: đất đắp có xen kẽ đất nguyên thổ.

-Cột

Bể chứa số 3 có 259 cột. Cột đổ bê tông liên khối cùng móng cột. Tải trọng nắp bể truyền thống nên qua cột và móng cột mà không truyền vào bản đáy bể.

-Tiết diện cột : 0,5x0,5m

-Chiều cao cột (max) : 10m

-Kích thước đáy móng : 2,4x1,5m

Khe hở giữa cột và bản đáy bể được chèn kín bằng gioăng cao su.

-Đáy bể

Đáy bể có 2 phần : phần phẳng giữa đáy và phần vách nghiêng nằm ở xung quanh, nối phần phẳng và thành đứng. Đáy bể được đổ bê tông theo từng tấm kích thước 9x12m hoặc 6x9m, dày 15cm, có 1 lưới thép ô vuông ϕ 9,6m a 200 mm đặt ở chính giữa tấm. Các tấm đan này liên kết với nhau bằng gioăng cao su.

-Hệ thống thoát nước dưới đáy bể (Drainage)

Phần sát đáy bể là một lớp đá dăm 3x1x6cm có chiều dày 20-30 cm. Dưới lớp đá dăm là hệ ống ϕ 300 (ống nhánh) và ống ϕ 600 (ống trục). Các ống nhánh được khoan lỗ để thu nước.

Nước ngầm khi đạt tới cao độ của hệ ống được tập trung vào hố ga thu nước của khu vực. Nhờ vậy mà đáy bể không bị chịu áp lực nước ngầm.

Theo tài liệu khảo sát địa chất của Hydrotechnic Corporation và Viện Thiết kế quy hoạch tổng hợp, Bộ Xây dựng (Thành phố Hồ Chí Minh), thì tình hình địa chất khu vực xây dựng bể chứa nước như sau:

Từ trên xuống dưới (kể từ mặt bằng xây dựng công trình) có các lớp đất sau:

-Lớp á sét: dày 6-8m; độ sệt $B=0,05$; lực dính $C=0,31$ kg/cm²; góc ma sát trong $\varphi=20^{\circ}30'$; hệ số $a=0,016$ cm²/kg; $E_s=50$ kg/m².

-Lớp á cát : dày 0,2-5,2m; độ sệt $B=0,44$; lực dính $C=0,09$ kg/cm²; góc ma sát trong $\varphi=25^{\circ}30'$; hệ số nén $a=0,07$ cm²/kg;

-Lớp cát : dày 0,10-7,9m; $C=0,015$ kg/cm²; $\varphi=34^{\circ}$; $a=0,04$ cm²/kg.

-Lớp đất sét bụi: $B=0,089$; $C=0,71$ kg/cm²; $\varphi=15^{\circ}$; $a=0,058$ cm²/kg. (Xem mặt cắt địa chất).

Nhìn chung, đây là địa tầng phù sa cổ, bình thường ở trạng thái chặt vừa, khi gặp nước sẽ có tính dẻo đến dẻo nhão. Hạt sét có thể bị trôi khi nước ngầm chuyển dịch.

Sự cố và nguyên nhân hư hỏng

Sự cố

Ngay từ khi xây dựng xong, đáy 4 bể chứa Nhà máy nước Thủ Đức đã bị nứt gãy và nước đã bị rò rỉ. Lượng nước rò rỉ tăng theo thời gian, khi mới đưa vào sử dụng, lượng rò rỉ là 200m³/ngày, đến năm 1972 riêng 2 bể số 3 và 4 đã rò rỉ 10.000m³-10.500m³/ngày, tăng đến 24.000m³/ngày năm 1983 và hiện nay, mỗi ngày mất khoảng 60.000m³ nước sạch. Lượng nước thất thoát này đủ cho 600.000 người sử dụng (tiêu chuẩn 100 dm³/ngày), tương đương với một nhà máy lớn ở Hà Nội do Phân Lan tài trợ. Sở dĩ nước bị thất thoát là vì đáy (phẳng và vách nghiêng) bị nứt gãy. Các báo cáo của Sài Gòn Thủy cục và các đơn vị liên quan cho thấy nhiều vết nứt gãy đã được phát hiện bằng mắt thường và đã được vá lại. Cho đến nay đã trải qua 14 lần sửa chữa như vậy và có tới 269 chỗ được vá chữa. Các “miếng vá” bê tông cốt thép có kích thước từ 0,8x1m đến 3x12m; Tuy vậy hiện nay còn nhiều vết nứt gãy vẫn chưa được sửa chữa, có chỗ đã trở thành hốc rỗng; người có thể chui qua được. Các gioăng cao su bị rách, hỏng. Trên thành đứng thẳng thẻo có những khe nứt theo chiều đứng. Mái bể bị hư hỏng nhẹ trừ việc các lớp chống thấm trên nóc đã bị hỏng hoàn

toàn. Nước mưa và đất bụi chảy vào bể làm nhiễm bẩn nước. Trước tình hình đó, Nhà máy nước Thủ Đức đành không sử dụng bể số 3 (bể hồng nặng nhất) và xây dựng 1 trạm bơm 2 chuyển hút nước thất thoát từ các bể đưa vào mạng nước Thành phố.

Ảnh hưởng của dao động đối với cơ thể con người

Dao động của nhiều loại máy móc thông qua xúc giác truyền vào cơ thể con người làm cho con người cảm nhận được có sự rung động. Dao động có vận tốc chậm (đại thể từ 1,0 đến 2,5 Hertz) có thể ảnh hưởng tới sự cân bằng của cảm giác và cơ bắp. Còn dao động có vận tốc nhanh (lớn hơn 10 Hertz) được phản ánh thành áp lực và chấn động. Ngay từ năm 1922 và 1933, Zeller đã thảo luận khá đầy đủ vấn đề tâm lý học do dao động gây ra. Nếu tần số dao động vượt quá 20 Hertz, cơ thể con người còn cảm nhận được âm thanh (ngoài cảm giác về sự rung động ra). Còn khi dao động có tần số lớn hơn 100 Hertz thì cảm nhận chủ yếu là âm thanh. Dao động của vật cứng nói chung do tác động của lực có tính chu kỳ gây nên. Lực có tính chu kỳ đó lại do máy móc, xe cộ rung động hoặc các hiện tượng thiên nhiên như động đất, gió, nước sinh ra. Dao động có thể có ảnh hưởng xấu đến cơ thể con người và gây nên các tải trọng và ứng suất có hại trong vật liệu xây dựng nên công trình. Những phương pháp phòng chấn chủ yếu bao gồm: loại trừ dao động có hại hoặc tối thiểu là phải giảm nhẹ những dao động có hại đó xuống đến mức cho phép sao cho nó không làm tổn hại đến cơ thể con người và không gây nên ứng suất vượt trội quá mức trong vật liệu xây dựng nên công trình. Zeller (1931) đưa ra hệ số đặc trưng ảnh hưởng của dao động. Hệ số này có liên quan đến khối lượng m và rút ra từ biểu thức sau đây:

$$X = \frac{1}{2}(2\pi)^2 4a^2 n^3 m \quad (1.1)$$

Đối với đơn vị khối lượng ($m=1g$) biểu thức trên biến thành

$$X = \frac{1}{2}(2\pi)^2 a^2 n^3 \quad (cm^2 \text{ sec}^{-3} g) \quad (1.2)$$

Để tiện dụng ta có thể dùng biểu thức:

$$X = \frac{b^2}{n} = \frac{(2\pi ma)^2}{n} \quad (1.3)$$

Do đó theo công thức của Zeller ta rút ra trị số sau đây:

$$\chi = 16\pi^4 a^2 n^3 \quad (cm^2 \text{ sec}^{-3} g) \quad (1.4)$$

Trên cơ sở trị số χ , Zeller đã phân loại tần số dao động ra các loại từ loại I đến loại XII (xem bảng 3).

Ta có thể nhận ra: dao động bắt đầu phá hoại công trình khi $\chi = 25$ đến 100

Bendel (1944-1948) đã tiến hành rất nhiều thí nghiệm về dao động đồng thời so sánh kết quả thí nghiệm của ông với kết quả của các nhà nghiên cứu khác. Trên cơ sở công tác nghiên cứu của bản thân ông và trích dẫn các biểu đồ mà Reiher và Meister đã công bố ông đã đưa ra một số bảng biểu bao hàm việc phân cấp dao động. Những

bảng biểu này lần lượt ghi lại hai tình huống dao động gây nên bởi tác động của chấn rung liên tục và xung kích một lần (xem bảng 4 và bảng 5)

Trong các bảng đã sử dụng các ký hiệu:

V-thành phần thẳng đứng của máy dạng đứng

L-thành phần nằm ngang của máy dạng đứng

Q-thành phần nằm ngang của máy dạng nằm

$$C = \frac{\text{gia tốc}}{4\pi^2 f} \quad (1.5)$$

Trong đó f là tần số

Khi: $n \geq 5$, $k=1$

Khi $\mu > 5$, cần xem xét

$$A = \frac{1}{2}(4\pi^2 a^2 n^2) \quad (1.6)$$

Bảng 3: Phân loại tần số dao động

Phân loại	Đặc điểm	χ
I	Chưa cảm giác thấy	1
II	Rất nhẹ	2
III	nhẹ	10
IV	Vừa phải	50
V	Hơi mạnh	250
VI	Mạnh	1000
VII	Rất mạnh	5000
VIII	Dữ dội	20000
IX	Có tính huỷ hoại	100000
X	Hoàn toàn huỷ hoại	500000
XI	Có tính tại biên	2500000
XII	Tại biên ở mức độ cao	10000000

Trong chỉ dẫn VDI của hiệp hội kỹ sư Đức, người ta đưa ra tiêu chuẩn so sánh cấp dao động của máy móc và nay đã đưa vào quy phạm DIN 4025. Để biểu thị ảnh hưởng của dao động máy móc đối với cơ thể con người, người ta sử dụng xuất phụ tải sinh lý K (từ 0,1 đến 100) trong bảng 4. Trong bảng 5 ghi các trị số là số bình quân có tính chất chỉ thị và phù hợp với trường hợp người ở tư thế đứng hay ngồi cũng như thích dụng với điều kiện về cơ bản là dao động thẳng đứng hoặc dao động nằm ngang liên tục. Khi dao động liên tục trong một đoạn thời gian rồi ngừng lại, thì có thể tra dùng theo bảng 5 với phụ tải cao hơn một cấp.

Bảng 4: Phân cấp dao động trong trường hợp xung kích một lần

TT	Cấp				Ảnh hưởng của dao động	
	Theo phương pháp Reither	Theo phương pháp Forei-Rossi	Cấp cường độ động đất Forei Độ động - Rossi		Đối với cơ thể con người	Đối với công trình
			Cấp	j	Độ nhạy cảm	
1	2	3	4	5	6	7
1	0	I	1~2	0~2,5	Chưa cảm nhận được	Chưa phá hoại
2	I	II	3~4	2,5~4,5	Vừa cảm nhận được	Chưa phá hoại
3	I	III	5	4,5~5,5	Dễ cảm nhận được	Chưa phá hoại
4	I	III-V	6~7	5,5~7,5	Dễ cảm nhận và cảm thấy khó chịu	Chưa phá hoại
5	II	V-VIII	8~9	7,5~9,5	Trong thời gian dài là có hại	Mối nối long ra vượt quá cường độ chịu kéo của vật liệu
6	II	IX-XII	10~12	9,5~12,5	Có hai tuyệt đối cần dưới của đau khổ	Hủy hoại

Ghi chú: Các trị số trong bảng 4 thích dụng cho ảnh hưởng của dao động với cơ thể con người và đối với công trình.

Trong phân cấp Forei- Rossi: b – biểu thị gia tốc:

$$\text{Log} b = \frac{1}{2}(j - 3,5); \quad j - \text{cường độ (theo Gassman)} \quad (1.7)$$

Bảng 5: Suất phụ tải sinh lý K của dao động đối với con người

K	Mô tả tình huống	Làm việc
0,1~0,3	Bắt đầu có phản ứng và bắt đầu có cảm giác rung	Không ảnh hưởng
0,1~0,3	Vừa cảm nhận được, hầu như chưa cảm thấy khó chịu, dễ dàng chịu đựng	Không ảnh hưởng
0,3~1,0	Dễ dàng cảm nhận được, qua dao động một vài giờ cảm thấy khá là khó chịu, còn ở mức chịu đựng nổi	Có ảnh hưởng nhưng cần có thể làm việc được
3~10	Khó chịu qua dao động một vài giờ, cảm thấy không chịu đựng nổi, giới hạn thời gian dự đoán có thể chịu đựng được là 1 giờ	Ảnh hưởng dữ dội, vừa tới mức còn có thể tiến hành làm việc được
10~30	đặc biệt khó chịu, giới hạn thời gian dự đoán tối đa có thể là chịu đựng được là 10 phút	Khó có thể làm việc được
30~100	Cực kỳ khó chịu, giới hạn thời gian dự đoán tối đa có thể chịu đựng được là 10 phút	Không thể tiến hành làm việc được
>100	Không thể chịu đựng nổi	Không tiến hành làm việc được

KẾT LUẬN CHUNG

Dao động có hại xuất hiện trong rất nhiều lĩnh vực kỹ thuật ở nước ta, làm giảm chất lượng, độ bền và tuổi thọ của các thiết bị, máy móc. Ngoài ra các dao động có hại cũng ảnh hưởng rất nhiều tới sức khoẻ và tinh thần của con người. Các ĐĐCH này ngày càng nguy hiểm và cần được quan tâm thích đáng vì 3 lý do:

- Sự tăng lên về quy mô kết cấu, về tốc độ máy móc và cường độ kích động ngoài;
- Sự cấp thiết về việc giảm giá thành các công trình lớn;
- Yêu cầu cao về an toàn cho các công trình quan trọng.

Ngoài ra, nước ta đang phát triển công nghiệp đóng tàu biển trọng tải lớn, tự động hóa trong ngành cơ khí, công nghiệp dầu khí, dàn khoan biển, cầu dây văng v.v.. Vì vậy, việc phát triển công nghệ giảm dao động có hại ở Việt Nam nói riêng cũng như ở trên thế giới nói chung là một hướng kỹ thuật có triển vọng ứng dụng và đem lại nhiều hiệu quả kinh tế và xã hội.

2. Phân tích tổng quan các kỹ thuật cơ bản chống dao động có hại

Các kỹ thuật cơ bản của Điều Khiển Dao Động (ĐKDD)

Công nghệ chống dao động có hại dựa trên việc điều khiển đáp ứng động (dao động theo thời gian) của công trình kỹ thuật (CTKT). Các kỹ thuật cơ bản nhằm đạt được một số mục đích sau:

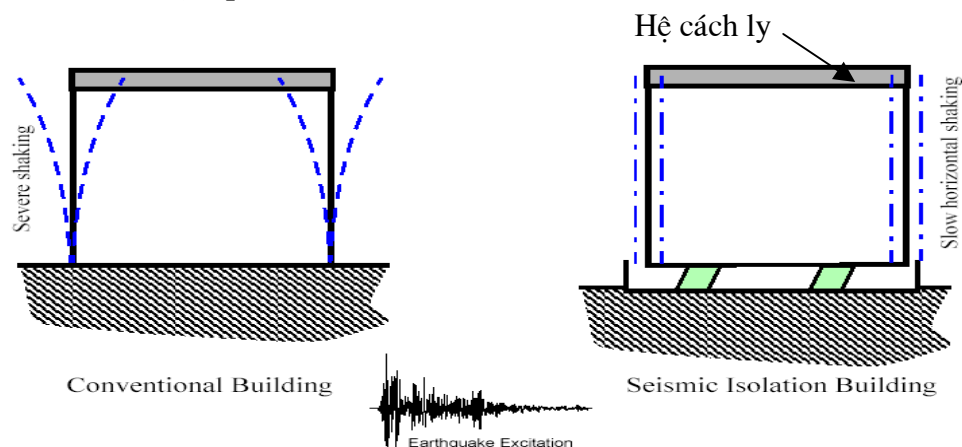
- Giảm thiểu tác động của ngoại lực lên CTKT.
- Truyền một phần năng lượng dao động có hại của CTKT sang các bộ tiêu tán năng lượng (TTNL) được kết nối với CTKT.
- Tạo thêm lực ngoài bằng các bộ kích động lực để cân bằng hoặc giảm bớt ngoại lực tác động lên CTKT.

Từ những mục đích đó, người ta phát triển ba phương pháp điều khiển dao động:

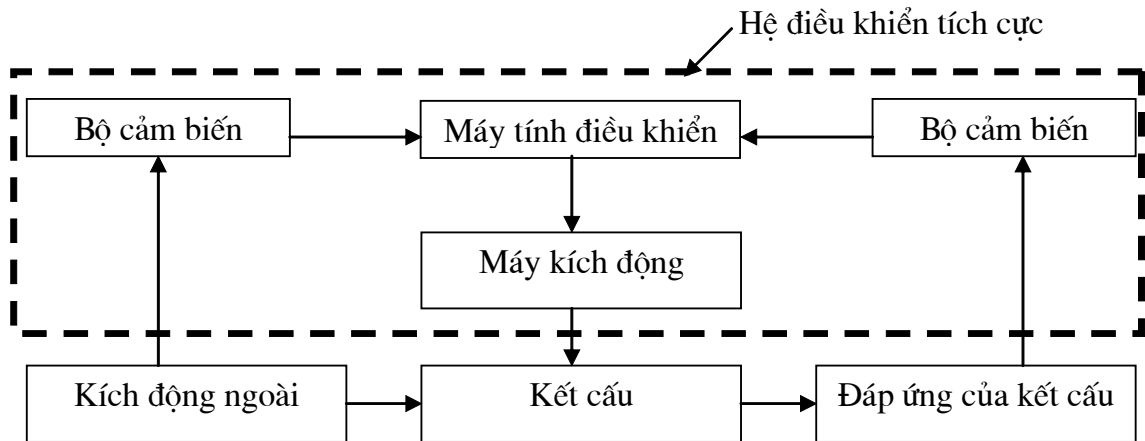
- Phương pháp sử dụng các hệ cách ly.
- Phương pháp sử dụng các hệ tiêu tán năng lượng (điều khiển thụ động (ĐKTĐ)).
- Phương pháp điều khiển tích cực (ĐKTC).

Trong thực tế, còn có thể điều khiển dao động bằng cách kết hợp các phương pháp trên nhằm đạt hiệu quả giảm dao động tốt hơn. Chẳng hạn, phương pháp kết hợp giữa hai phương pháp ĐKTĐ và phương pháp ĐKTC được gọi là phương pháp bán tích cực (semi-active). Một trong các ưu điểm của phương pháp bán tích cực là đưa kỹ thuật điều khiển vào các thiết bị TTNL thụ động và biến các thiết bị này thành các thiết bị có điều khiển trong suốt quá trình dao động của công trình kỹ thuật. Kết quả là hiệu quả giảm dao động của các thiết bị TTNL bán tích cực (có điều khiển) tăng lên rất nhiều so với các thiết bị TTNL thụ động. Các công trình kỹ thuật và các máy móc hiện đại ngày nay đều sử dụng các thiết bị TTNL tích cực để đảm bảo một chất lượng dịch vụ một cách tốt nhất.

Phương pháp sử dụng hệ cách ly hiện nay đã được dùng nhiều cho các máy móc thiết bị trong các ngành năng lượng, cơ khí, công nghiệp, nhà cao tầng trong vùng động đất... và cho hiệu quả tốt.



Hình 2.1. Hệ cách ly trong xây dựng



Hình 2.2. Sơ đồ điều khiển tích cực

Phương pháp điều khiển tích cực sử dụng các máy kích động (dạng thuỷ lực hoặc chất lỏng từ biến) để sinh lực vào kết cấu. Phương pháp này hiện mới đang được nghiên cứu mạnh trong những năm gần đây. Hệ điều khiển dựa trên các kết quả đo đáp ứng của kết cấu sẽ sinh ra lực để cân bằng với ngoại lực tác động vào kết cấu.

a. Phân tích kỹ thuật điều khiển thụ động

Một số lời giải giải tích cho tham số tối ưu của TMD

Đối với hệ một bậc tự do không cản, có thể thu được lời giải giải tích cho các tham số tối ưu của TMD. Trong mục này ta sẽ trình bày 4 phương pháp có lời giải giải tích. Việc chia các phương pháp dựa trên dạng chỉ tiêu cần tối ưu. Chúng tôi đề cập đến 4 dạng chỉ tiêu. Các kết quả chính thuộc về Den Hartog.

Chỉ tiêu cực tiểu đỉnh của đáp ứng, phương pháp điểm cố định

Chỉ tiêu cực tiểu đỉnh của đáp ứng đánh giá trường hợp xấu nhất xảy ra với đáp ứng của hệ chính. Với kết cấu, có 2 đáp ứng hay được xét đến là chuyển dịch (liên quan đến độ an toàn của kết cấu) và gia tốc (liên quan đến độ an toàn của các thiết bị và con người trong kết cấu). Ta có thể dùng được phương pháp điểm cố định như sau. Hệ chính 1 bậc tự do được lắp TMD trở thành hệ 2 bậc tự do. Nếu hệ chính không cản thì đáp ứng phức của hệ chính khi chịu kích động điều hoà đều có dạng

$$x(t) = \frac{A + iB\xi}{C + iD\xi} f(t) \quad (2.1)$$

Trong đó i là số ảo, x là đáp ứng phức của hệ chính, ξ là tỷ số cản của TMD, $f(t)$ là kích động điều hoà phức tác động vào hệ chính. Nếu đặt:

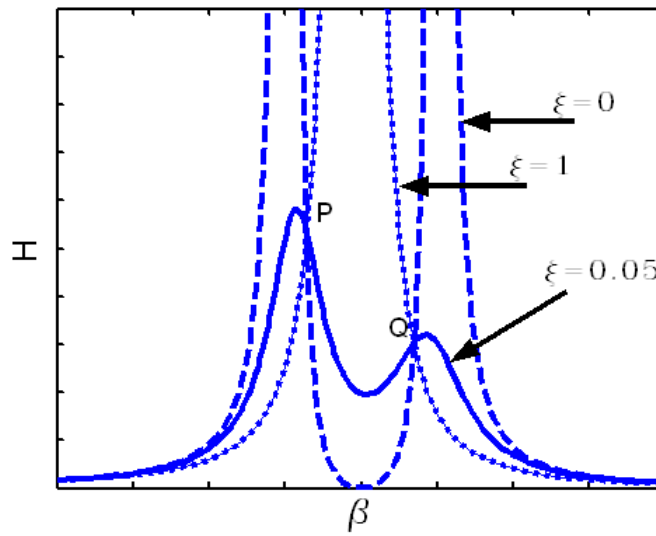
α là tỷ số giữa tần số riêng của TMD với tần số riêng của hệ chính

β là tỷ số giữa tần số của kích động với tần số riêng của hệ chính

thì A,B,C,D là các hàm thực của α , β và một số tham số khác ngoại trừ ξ . Biên độ thực của đáp ứng là:

$$|x(t)| = |f(t)| \sqrt{\frac{A^2 + B^2 \xi^2}{C^2 + D^2 \xi^2}} = H |f(t)| \quad (2.2)$$

trong đó H được gọi là hàm khuếch đại. Mục đích của chúng ta là cực tiểu hoá đỉnh của hàm khuếch đại H trong toàn bộ miền biến thiên của tần số kích động. Khi cố định các tham số trừ tham số ξ , dạng đồ thị H theo β với một số giá trị của ξ đều có dạng như trên Hình 2.3



Hình 2.3: Dạng đồ thị thể hiện sự biến thiên của hàm khuếch đại theo tần số kích động ngoài với một số giá trị khác nhau của tỷ số cản

Trên Hình 2.3 ta thấy, với 2 trường hợp tới hạn $\xi=0$ (không cản) và $\xi=1$ (cản tới hạn) đều dẫn tới đỉnh của đồ thị tiến ra vô cùng. Điều đó cho thấy tồn tại một giá trị tối ưu nào đó của tỷ số cản thiết bị ξ giữa 2 giá trị này. Ngoài ra, tính chất không cản của kết cấu cho thấy có 2 điểm cố định P,Q không phụ thuộc vào tỷ số cản ξ của TMD. Bước đầu tiên của phương pháp điểm cố định là tìm 2 điểm cố định P,Q. Giả sử 2 điểm P, Q có hoành độ là β_1 và β_2 . Để H không phụ thuộc vào ξ thì:

$$\frac{\partial H}{\partial \xi} \Big|_{\beta=\beta_1} = \frac{\partial H}{\partial \xi} \Big|_{\beta=\beta_2} = 0 \quad (2.3)$$

Từ biểu thức của H trong (2.2), rút ra các phương trình:

$$\left| \frac{A}{C} \right|_{\beta=\beta_1} = \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_1} \quad (2.4)$$

$$\left| \frac{A}{C} \right|_{\beta=\beta_2} = \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_2} \quad (2.5)$$

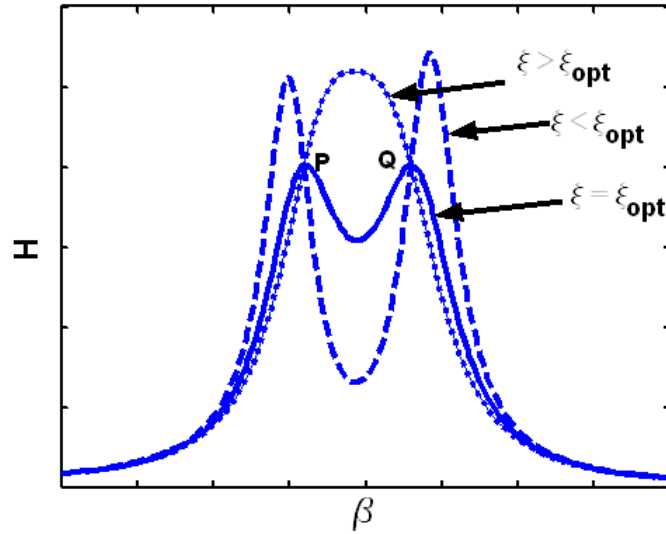
Và ta cũng thu được giá trị của H tại 2 điểm này:

$$H|_P = \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_1} \quad H|_Q = \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_2} \quad (2.6)$$

Sau đó, Den Hartog lý luận rằng muốn đỉnh của đồ thị H theo β thấp nhất thì trước hết cần phải cho 2 điểm P và Q có độ cao bằng nhau, từ đó ta có thêm 1 phương trình:

$$H|_P = H|_Q \Rightarrow \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_1} = \left| \frac{B}{D} \right|_{\beta=\beta_2} \quad (2.7)$$

Như vậy ta đã có 3 phương trình (2.4), (2.5) và (2.7) cho 3 ẩn β_1 , β_2 và α . Chú ý rằng tính chất không cản của hệ chính làm cho A,B,C,D không phụ thuộc vào ξ nên hệ (2.4), (2.5) và (2.7) là hệ 3 phương trình với 3 ẩn β_1 , β_2 và α . Hệ này có lời giải không phụ thuộc ξ . Kết quả cho nghiệm tối ưu của α là α_{opt} . Bước thứ hai là tìm thêm một phương trình nữa cho ẩn ξ . Sau khi đã có 2 điểm cố định P, Q cao bằng nhau, nếu vẽ đồ thị H theo tần số kích động với các giá trị ξ khác nhau, ta lại có dạng:



Hình 2.4: Dạng đồ thị thể hiện sự biến thiên của hàm khuếch đại theo tần số kích động với một số giá trị của ξ khi α đã được chỉnh đến giá trị tối ưu

Khi ξ còn nhỏ thì có 2 đỉnh của đồ thị cao hơn P và Q. Khi ξ tăng dần thì 2 đỉnh đó thấp dần xuống. Đến một giá trị ξ_{opt} thì 2 đỉnh này đã thấp khá gần P,Q. Nếu lại tăng tiếp cản thì 2 đỉnh tiến tới chập làm 1 và đỉnh duy nhất này lại cao lên. Như vậy tồn tại một giá trị ξ_{opt} mà ta cần tìm sao cho P và Q gần với các đỉnh của đồ thị nhất.

Trước hết ta tìm giá trị ξ_1 sao cho P là một đỉnh của đồ thị. Khi P là đỉnh của đồ thị thì đạo hàm của H tại đó bằng 0. Lấy đạo hàm của H và cho bằng 0, thu được

$$H^2 = \frac{A \frac{\partial A}{\partial \beta} + \xi^2 B \frac{\partial B}{\partial \beta}}{C \frac{\partial C}{\partial \beta} + \xi^2 D \frac{\partial D}{\partial \beta}} \quad (2.8)$$

Dẫn tới:

$$\xi^2 = - \frac{A \frac{\partial A}{\partial \beta} - H^2 C \frac{\partial C}{\partial \beta}}{B \frac{\partial B}{\partial \beta} - H^2 D \frac{\partial D}{\partial \beta}} \quad (2.9)$$

Thay các giá trị ξ_{opt} và β_1 vào đây có thể tính được ξ_1 .

$$\xi_1^2 = - \frac{A \frac{\partial A}{\partial \beta} - H^2 C \frac{\partial C}{\partial \beta}}{B \frac{\partial B}{\partial \beta} - H^2 D \frac{\partial D}{\partial \beta}} \quad \text{tại } \alpha = \alpha_{opt} \text{ và } \beta = \beta_1 \quad (2.10)$$

Với cách làm tương tự ta tính được giá trị ξ_1 để Q là một đỉnh của đồ thị.

$$\xi_2^2 = - \frac{A \frac{\partial A}{\partial \beta} - H^2 C \frac{\partial C}{\partial \beta}}{B \frac{\partial B}{\partial \beta} - H^2 D \frac{\partial D}{\partial \beta}} \quad \text{tại } \alpha = \alpha_{opt} \text{ và } \beta = \beta_2 \quad (2.11)$$

Do ξ_1 và ξ_2 khác nhau nên P và Q không thể đồng thời là đỉnh. Giá trị tối ưu sẽ tương ứng với trường hợp P và Q gần các đỉnh nhất như đã thấy trên Hình 2.4. Giá trị này sẽ được lấy là giá trị trung bình bình phương:

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{\xi_1^2 + \xi_2^2}{2}} \quad (2.12)$$

Phương pháp điểm cố định được thực hiện bằng việc giải 6 phương trình (2.4), (2.5), (2.7), (2.10), (2.11) và (2.12). Sử dụng chỉ tiêu cực tiểu đỉnh đáp ứng có thể đảm bảo giảm được tối đa đáp ứng của kết cấu trong trường hợp xấu nhất. Tuy nhiên nếu trường hợp xấu nhất ít có khả năng xảy ra (theo nghĩa xác suất) thì chỉ tiêu cực tiểu đỉnh của đáp ứng chưa phải là một lựa chọn tối ưu.

Chỉ tiêu cực tiểu phương sai của đáp ứng với kích động ngẫu nhiên ồn trắng

Chỉ tiêu phương sai đánh giá trung bình bình phương của đáp ứng trên toàn khoảng biến thiên của tần số. Phương pháp tính toán dựa trên việc tính ma trận phương sai. Ma trận phương sai có thể được phân tích bằng phương pháp phổ hoặc phương pháp phương sai. Phương pháp phương sai tỏ ra tiện lợi khi mô tả bằng máy tính. Để sử

dùng phép phân tích phương sai, phương trình chuyển động được viết dưới dạng phương trình trạng thái:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{S}\mathbf{z} + \mathbf{H}_f f(t) \quad (2.13)$$

Trong đó $\mathbf{z}(t)$ là vectơ trạng thái chứa đáp ứng của hệ chính, \mathbf{S} là ma trận hệ thống, \mathbf{H}_f là ma trận định vị của kích động $f(t)$. Ma trận phương sai \mathbf{P} là nghiệm của phương trình ma trận Lyapunov:

$$\mathbf{S}\mathbf{P} + \mathbf{P}\mathbf{S}^T + \mathbf{H}_f \mathbf{H}_f^T s_f = 0 \quad (2.14)$$

Giả sử $f(t)$ là kích động ồn trắng có cường độ s_f . Đối với hệ 2 bậc tự do, số ẩn cần giải là 16. Tuy nhiên nếu chú ý thêm tính đối xứng của ma trận phương sai thì số ẩn còn lại là 10. Các giá trị tối ưu của α và ξ được tìm làm tối ưu phương sai của đáp ứng hệ chính. Gọi phương sai của đáp ứng hệ chính là P_s thì điều kiện cực tiểu của P_s là:

$$\frac{\partial P_s}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_{opt}} = 0; \quad \frac{\partial P_s}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\xi_{opt}} = 0 \quad (2.15)$$

Như vậy để thu được tham số tối ưu với chỉ tiêu phương sai thì ta cần giải hệ (2.14) và (2.15). Trong trường hợp hệ chính là hệ 1 bậc tự do không cản thì hệ phương trình trên có lời giải giải tích. Ngoài ra cũng có thể xét thêm trường hợp chỉ có 1 tham số được điều chỉnh. Trong thực tế, do nguyên nhân kỹ thuật có thể xảy ra các trường hợp tham số α hoặc ξ đã được chọn cố định. Khi đó ma trận phương sai chỉ còn là hàm một biến. Lúc đó ta vẫn tìm điều kiện cực trị và tìm ra giá trị tối ưu của tham số còn lại.

Chỉ tiêu cực tiểu phương sai không đảm bảo giảm tối đa đáp ứng trong trường hợp xấu nhất nhưng dễ dàng lập trình trên máy tính và phát triển phương pháp số.

Chỉ tiêu cực đại khả năng tiêu tán năng lượng

Như ở chương mở đầu ta đã biết, hiệu quả của tất cả các thiết bị TTNL lắp thêm vào hệ chính được xác định bởi đại lượng không thứ nguyên là tỷ số cản tương đương, tính theo công thức:

$$\xi_{eq} = \frac{-\langle E_D \rangle}{2\omega_s m \langle \ddot{\mathbf{x}} \rangle} = \frac{-\langle f_{TMD} \ddot{\mathbf{x}} \rangle}{2\omega_s m \langle \ddot{\mathbf{x}} \rangle} \quad (2.16)$$

Trong đó E_D là công suất tiêu tán của thiết bị, f_{TMD} là lực do TMD tác động vào hệ chính, ký hiệu $\langle \rangle$ chỉ giá trị trung bình. Đối với kích động ngẫu nhiên thì giá trị trung bình được lấy bằng phương sai. Chỉ số cản tương đương đánh giá khả năng TTNL của thiết bị. Tỷ số cản này càng lớn thì TMD càng hiệu quả. Cũng bằng cách giải phương trình ma trận Lyapunov (2.14) ta thu được ma trận phương sai. Từ ma trận phương sai ta tính được biểu thức của tỷ số cản tương đương rồi áp dụng điều kiện tối ưu của hàm hai biến để tìm tham số tối ưu cho TMD.

Ưu điểm của chỉ tiêu cực đại khả năng TTNL là có dạng không phụ thuộc vào số bậc tự do của hệ chính. Như ta đã đề cập ở chương mở đầu, các phương pháp phân tích và thiết kế hiện đại tập trung nhiều hơn vào yếu tố năng lượng, do đó, chỉ tiêu khả năng

TTNL rất thích hợp cho các phương pháp này. Tuy nhiên, do mới được phát triển nên các kết quả thu được còn chưa nhiều.

Chỉ tiêu ổn định của hệ kết cấu - TMD

Xét phương trình trạng thái (2.13). Đa thức đặc trưng của ma trận hệ thống S có dạng:

$$P(\lambda) = a_4 \lambda^4 + a_3 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 \quad (2.17)$$

Trong đó a_i ($i=1, \dots, 4$) là các hệ số thực. Các nghiệm phức của đa thức này được gọi là các cực của hệ thống. Đối với các hệ cơ học thông thường thì (2.17) có 2 cặp nghiệm phức liên hợp với phần thực âm. Giả sử 2 nghiệm phức không liên hợp là ξ_i ($i=1,2$) thì chỉ số cản hay độ giảm loga được tính theo công thức:

$$\xi_i = -\frac{\text{Re } \lambda_i}{|\lambda_i|} \quad (i=1,2) \quad (2.18)$$

Trong đó Re là ký hiệu phần thực. Chỉ số này càng lớn thì hệ càng ổn định. ở đây xảy ra trường hợp khi chỉ số cản thứ nhất lớn thì chỉ số cản thứ hai càng nhỏ và ngược lại. Vì thế trường hợp thoả hiệp được coi là tối ưu khi các chỉ số này bằng nhau. Điều này tương ứng với đa thức (2.17) có một cặp nghiệm phức kép, tức là phải có dạng:

$$P(\beta) = (\delta_2 \beta^2 + \delta_1 \beta + \delta_0)^2 \quad (2.19)$$

Khai triển (2.19) và cân bằng hệ số với (2.17), sau khi khử δ_0 , δ_1 và δ_2 , ta thu được hệ phương trình tìm tham số tối ưu:

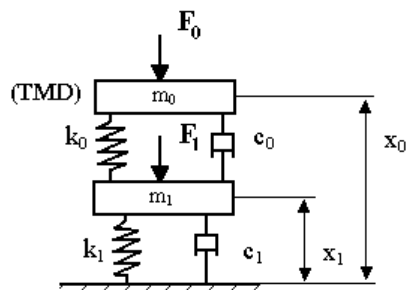
$$\begin{cases} a_2 = \frac{2a_1 a_4}{a_3} + \frac{a_3^2}{4a_4} \\ a_0 = \frac{a_1^2 a_4}{a_3^2} \end{cases} \quad (2.20)$$

Nghiệm của hệ này là các tham số tối ưu của TMD. Ưu điểm rõ nhất của chỉ tiêu ổn định là lời giải không phụ thuộc vào dạng kích động ngoài.

Một số trường hợp áp dụng phương pháp giải tích

Nguyên lý cơ bản của bộ hấp thụ dao động thụ động cản nhớt - khối lượng

Hình 2.5 mô tả hệ dao động có khối lượng m_1 chịu kích động bởi lực $F_1(t)$.



Hình 2.5. Bộ hấp thụ dao động và hệ chính

Để giảm dao động của hệ chính ta gắn vào hệ dao động một bộ hấp thụ dao động thụ động khối lượng m_0 . Phương trình chuyển động của cơ hệ được mô tả bởi :

$$M\ddot{X}(t) + C\dot{X}(t) + KX(t) = F(t) \quad (2.21)$$

ở đây $X(t)$ là vectơ dịch chuyển tương đối của các vật so với nền. M , C , K tương ứng là các ma trận khối lượng, cản nhớt và độ cứng:

$$X(t) = (x_1(t), x_0(t))^T, F(t) = (F_1(t), F_0(t))^T$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} c_1 + c_0 & -c_0 \\ -c_0 & c_0 \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} k_1 + k_0 & -k_0 \\ -k_0 & k_0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Phương trình (2.21) có thể viết thành (2.23) bằng cách nhân thêm vào hai vế và lấy trung bình :

$$\begin{cases} m_1 \langle \ddot{x}_1 \rangle + (c_1 + c_0) \langle \dot{x}_1 \rangle + (k_1 + k_0) \langle x_1 \rangle = \langle F_1(t) \rangle + c_0 \langle \dot{x}_0 \rangle + k_0 \langle x_0 \rangle \\ m_0 \langle \ddot{x}_0 \rangle - c_0 \langle \dot{x}_1 \rangle + c_0 \langle \dot{x}_0 \rangle - k_0 \langle x_1 \rangle + k_0 \langle x_0 \rangle = \langle F_0(t) \rangle \end{cases} \quad (2.23)$$

ở đây $\langle \dots \rangle$ là kỳ vọng toán học cho trường hợp hệ chịu kích động ngẫu nhiên hay giá trị trung bình cho trường hợp kích động điều hoà.

Từ $\langle x_1(t) \dot{x}_1(t) \rangle = 0$, $\langle \dot{x}_1(t) \dot{x}_1(t) \rangle = 0$ và cộng 2 phương trình trên lại, ta có phương trình cân bằng năng lượng đơn giản:

$$c_1 \langle \dot{x}_1^2 \rangle = \langle [F_1(t) + F_0(t)] x_1 \rangle - m_0 \langle \dot{x}_0 \dot{x}_1 \rangle \quad (2.24)$$

Trong đó,

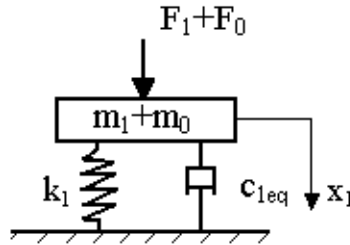
- $c_1 \langle \dot{x}_1^2 \rangle$ là năng lượng tiêu hao do tác dụng của lực cản.
- $\langle [F_1(t) + F_0(t)] x_1 \rangle$ là năng lượng do kích động từ bên ngoài.
- Phần năng lượng bằng $[m_0 \langle \dot{x}_0 \dot{x}_1 \rangle]$ được truyền từ hệ chính sang khối

lượng lắp thêm m_0 .

Đó chính là nguyên lý hoạt động của bộ hấp thụ dao động thụ động. Trong trường hợp dấu của $[m_0 \langle \dot{x}_0 \dot{x}_1 \rangle]$ dương, bộ hấp thụ dao động thụ động đã hấp thụ một phần năng lượng của dao động. Nếu năng lượng truyền từ hệ chính sang bộ hấp thụ dao động thụ động càng lớn thì dao động của hệ chính sẽ càng nhỏ. Nếu ta chọn bộ hấp thụ dao động không đúng, dấu của $[m_0 \langle \dot{x}_0 \dot{x}_1 \rangle]$ âm, hệ chính sẽ dao động mạnh thêm. Bộ hấp thụ dao động thụ động sẽ đạt hiệu quả tốt khi dao động của bộ hấp thụ lệch pha 90° so với dao động của hệ chính. Lúc này, gia tốc của bộ hấp thụ dao động thụ động cùng chiều với vận tốc của hệ chính. Khi bộ hấp thụ dao động làm việc có hiệu quả, nó làm tăng hệ số cản của hệ chính theo công thức (2.25).

$$c_{1eq} = c_1 + m_0 \frac{\langle \ddot{x}_0 \rangle}{\langle \ddot{x}_1 \rangle} \quad (2.25)$$

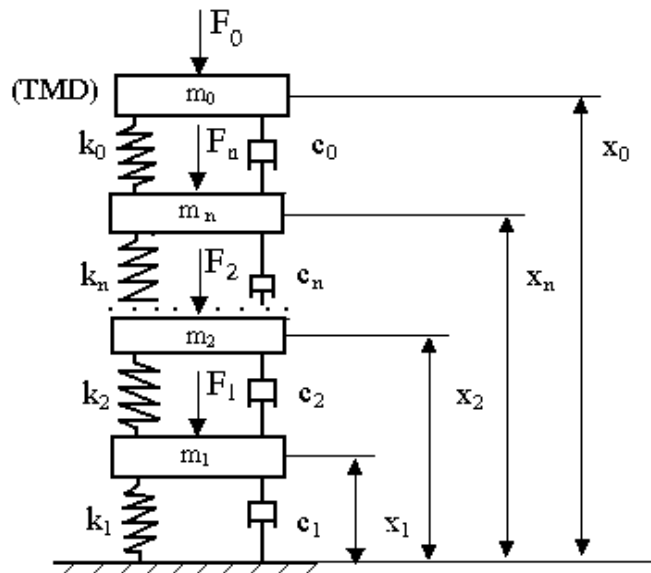
Ta có thể sử dụng hình 2.6 thay cho với c_{1eq} là hệ số cản của hệ chính tương đương.



Hình 2.6. Sơ đồ của hệ chính tương đương

Mô hình hệ nhiều bậc tự do có gắn bộ hấp thụ TMD thụ động

Hình 2.7 mô tả sơ đồ hệ dao động n bậc tự do có gắn bộ TMD thụ động chịu tác động của ngoại lực $F(t)$. Hệ chính bao gồm n vật khối lượng m_1, m_2, \dots, m_n được lắp nối tiếp với nhau thông qua các lò xo và giảm chấn; các lò xo và giảm chấn có hệ số cứng và hệ số cản nhớt ký hiệu tương ứng là $k_1, k_2, \dots, k_n; c_1, c_2, \dots, c_n$. Để giảm dao động của hệ chính, người ta mắc nối tiếp thêm một bộ TMD thụ động có khối lượng m_0 vào khối lượng m_n . Hệ số độ cứng và cản nhớt của bộ TMD thụ động được ký hiệu là k_0 và c_0 .



Hình 2.7. Hệ dao động cưỡng bức dưới tác động của ngoại lực

Phương trình chuyển động của hệ có gắn bộ TMD thụ động được mô tả bởi hệ phương trình vi phân tuyến tính sau

$$MX''(t) + CX'(t) + KX(t) = F(t) \quad (2.26)$$

ở đây M là ma trận khối lượng cấp $(n+1) \times (n+1)$, $X(t)$ là vectơ chuyển dịch tương

đối cấp $(n+1) \times 1$; C, K là ma trận cản và độ cứng cấp $(n+1) \times (n+1)$

$$X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), x_0(t))^T \quad (2.27)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \cdot & 0 & 0 \\ \dot{0} & \dot{0} & \cdot & \dot{m}_n & \dot{0} \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & m_0 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ \dot{0} & \dot{0} & \dot{0} & \cdot & c_{n-1} + c_n & -\dot{c}_n & \dot{0} \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & -c_n & c_n + c_0 & -c_0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & -c_0 & c_0 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ \dot{0} & \dot{0} & \dot{0} & \cdot & k_{n-1} + k_n & -\dot{k}_n & \dot{0} \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & -k_n & k_n + k_0 & -k_0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & -k_0 & k_0 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Lực tác động gồm n+1 thành phần

$$F(t) = [F_1(t) \quad F_2(t) \quad \dots \quad F_n(t) \quad F_0(t)]^T \quad (2.30)$$

Trong trường hợp nguyên nhân của kích động là nền dao động với gia tốc $\ddot{y}(t)$ lực kích động có dạng

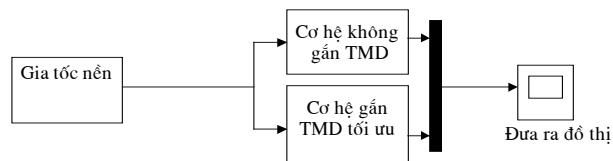
$$F(t) = [-\ddot{y}m_1 \quad -\ddot{y}m_2 \quad \dots \quad -\ddot{y}m_n \quad -\ddot{y}m_0]^T \quad (2.31)$$

Lực tác động nền do gia tốc $(-\ddot{y}(t))$ có thể được mô hình là một trong các dạng sau: kích động điều hòa, kích động ồn trắng, kích động ồn mẫu bậc nhất, kích động ồn mẫu bậc hai. Để đơn giản hóa tính toán ta đưa ra các ký hiệu sau

$$\omega_i^2 = \frac{k_i}{m_i}, \zeta_i = \frac{c_i}{2m_i\omega_i}, \mu_i = \frac{m_i}{m_l}, i = 0(1)n \quad (2.32)$$

Ở đây ω_i là các tần số riêng của từng vật đơn lẻ và ζ_i là các hệ số cản nhớt của khối lượng m_i , là tỷ số của khối lượng m_i với khối lượng m_l . Giá trị tối ưu của hệ số k_0 , c_0 có thể nhận được sau khi xác định giá trị tối ưu của ω_0 , ζ_0 . Tùy theo yêu cầu của cơ hệ cụ thể, mục tiêu của việc giảm dao động có thể là giảm gia tốc, chuyển vị hay đáp ứng bình phương trung bình của một phần tử hay các phần tử của cơ hệ. Tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả của bộ hấp thụ dao động và phương pháp xác định các thông số tối

ưu của bộ hấp thụ sẽ được đề cập ở các mục sau. Để kiểm chứng và minh hoạ các kết quả của phương pháp tính toán, ta có thể dùng công cụ SIMULINK của Matlab để mô phỏng dao động của cơ hệ có gắn TMD và so sánh với cơ hệ không gắn TMD. Trên Hình 2.8a là sơ đồ chung dùng để mô phỏng dao động của cơ hệ n bậc tự do chịu kích động của gia tốc nền. Để mô phỏng gia tốc nền là điều hòa, ồn trắng ta sử dụng các khối mô phỏng đã được thiết kế sẵn trong công cụ Simulink của Matlab (hình 2.8b và 2.8c). Để mô phỏng gia tốc nền là ồn màu bậc nhất và bậc hai ta thiết kế thêm khối bộ lọc ồn màu bậc nhất và bậc hai để chuyển từ ồn trắng sang ồn màu bậc nhất và bậc hai. Các khối này được thiết kế như hình 2.8d và 2.8e.



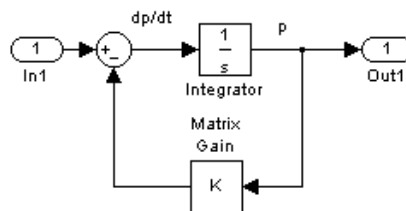
Hình 2.8a. Mô hình mô phỏng trên Simulink, MATLAB



Hình 2.8b. Khối mô phỏng gia tốc nền là hàm điều hoà

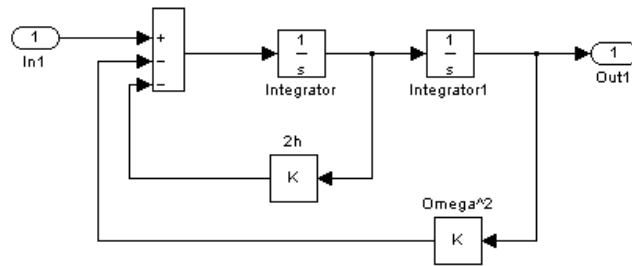


Hình 2.8c. Khối mô phỏng gia tốc nền là quá trình ồn trắng



Hình 2.8d. Khối bộ lọc ồn màu bậc nhất

-In1: ồn trắng ; -Out1: ồn màu bậc nhất



Hình 2.8e. Khối bộ lọc ổn mẫu bậc hai

In1: ổn trắng ; Out1: ổn mẫu bậc hai

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + HF \\ y = Vx + WF \end{cases}$$

State-Space

Hình 2.8f. Khối cơ hệ
(dùng cho cơ hệ không gắn TMD và cơ hệ có gắn TMD)

Khối cơ hệ không gắn TMD hoặc có gắn TMD được chọn như hình 2.8f. Khối này có chức năng giải hệ phương trình trạng thái $\dot{x} = Ax + HF$. Ta có

- x là vectơ biến trạng thái $x = [X(t), \dot{X}(t)]$
- Ma trận $A(2n+2) \times (2n+2)$ là ma trận trạng thái và xác định bởi

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1} \end{bmatrix}$$

- y là vectơ trạng thái cần mô phỏng (đầu ra).

Vectơ W cỡ $(2n \times 1)$ của phương trình $y = Vx + WF$ được lựa chọn như sau:

$$W = 0$$

Khi cần mô phỏng dao động của m_i thì chọn ma trận V cỡ $(2n \times 2n)$ tương ứng:

$$V_{kl} = \begin{cases} 0 & (\text{khi } k, l \neq i) \\ 1 & (\text{khi } k = l = i) \end{cases}$$

Ví dụ khi cần mô phỏng dao động của m_1 và m_2 ta chọn $V_{(m_1)}$ và $V_{(m_2)}$:

$$V_{(m_1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda & 0 \end{bmatrix}, \quad V_{(m_2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda & 0 \end{bmatrix}$$

Hệ chịu kích động điều hòa

Xét lực kích động nền (2.31) có dạng tổng của m hàm điều hòa

$$F_i = \sum_{k=1}^m [a_{ik} \cos(k\Omega t) + b_{ik} \sin(k\Omega t)], i=1,2,\dots,n,0 \quad (2.33)$$

Bỏ qua dao động tự do, dao động cưỡng bức của hệ (2.26) có thể tìm được dưới dạng sau

$$x_i = \sum_{k=1}^m [u_{ik} \sin(k\Omega t) + v_{ik} \cos(k\Omega t)], i=1,2,\dots,n,0 \quad (2.34)$$

Lấy đạo hàm của x_i theo t ta có

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= \sum_{k=1}^m \Omega k [u_{ik} \cos(k\Omega t) - v_{ik} \sin(k\Omega t)], i=1,2,\dots,n,0 \\ \ddot{x}_i &= \sum_{k=1}^m -\Omega^2 k^2 [u_{ik} \sin(k\Omega t) + v_{ik} \cos(k\Omega t)], i=1,2,\dots,n,0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

Thế (2.33), (2.34), (2.35) vào (2.26) rồi so sánh các hệ số của $\sin(k\Omega t)$ và $\cos(k\Omega t)$ ta nhận được hệ phương trình tuyến tính để xác định vectơ u_k và v_k

$$\begin{bmatrix} K - k^2 \Omega^2 M & -k\Omega C \\ k\Omega C & K - k^2 \Omega^2 M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_k \\ a_k \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Tổng bình phương biên độ của vật thứ j của hệ có thể tính như sau

$$A_j^2 = \sum_{k=1}^m (u_{jk}^2 + v_{jk}^2) = \alpha_j(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \Omega, a_{ik}, b_{ik}), i=0(1)n, k=1(1)m \quad (2.37)$$

Đặt x_{j0} là chuyển vị của khối lượng thứ j trong trường hợp hệ không gắn bộ TMD thụ động, tính toán tương tự như phần trên ta có bình phương biên độ của khối lượng m_j trong trường hợp hệ không gắn bộ TMD thụ động

$$A_{j0}^2 = \sum_{k=1}^m (u_{jk0}^2 + v_{jk0}^2) = \alpha_{j0}(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \Omega, a_{ik}, b_{ik}), i=1(1)n, k=1(1)m \quad (2.38)$$

Mục tiêu của việc nghiên cứu là tìm ra các thông số tối ưu của bộ TMD thụ động sao cho

$$E = \frac{R}{R_0} \Rightarrow \min_{\omega_0, \zeta_0} \quad (2.39)$$

ở đây

$$R = \sum_{i=1}^n \psi_i A_i^2 \quad - \text{Tổng các bình phương biên độ của các khối lượng thuộc hệ chính}$$

trong trường hợp có gắn bộ TMD thụ động, (2.40)

$R_0 = \sum_{i=1}^n \psi_i A_{i0}^2$ - Tổng các bình phương biên độ của các khối lượng thuộc hệ
chính trong trường hợp không gắn bộ TMD thụ động, (2.41)

$$\psi_i - \text{Hệ số ưu tiên, } 0 \leq \psi_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \psi_i = 1 \quad (2.42)$$

Tỷ số E mô tả hiệu quả của việc gắn bộ TMD thụ động. Khi $E < 1$ bộ TMD thụ động có tác động tốt, và ngược lại ta có kết quả xấu khi $E > 1$. Thay thế các biểu thức (2.37), (2.38), (2.40), (2.41), (2.42) vào (2.39). Khi đó, với các giá trị cho trước của μ_0 và $\Omega, a_{ik}, b_{ik}, \psi_i, \omega_i, \zeta_i, \mu_i$ ($i=1(l)n$), giá trị của E sẽ phụ thuộc vào hai tham số ω_0, ζ_0 . Để tìm giá trị nhỏ nhất của E ta lấy đạo hàm của E theo hai tham số ω_0, ζ_0 , sau đó cho hai đạo hàm này bằng không

$$\frac{\partial E(\omega_0, \zeta_0)}{\partial \omega_0} = 0, \quad \frac{\partial E(\omega_0, \zeta_0)}{\partial \zeta_0} = 0 \quad (2.43)$$

Giải hệ phương trình (2.43) ta tìm được các nghiệm $\omega_{0opt}, \zeta_{0opt}$. Để kiểm tra tính cực tiểu của E, ta làm như sau:

- Tính các giá trị của đạo hàm bậc hai của E theo tham số ω_0, ζ_0 tại $\omega_{0opt}, \zeta_{0opt}$.
- Đặt $a = \frac{\partial^2 E}{\partial \omega_0^2}(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$, $b = \frac{\partial^2 E}{\partial \omega_0 \partial \zeta_0}(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$, $c = \frac{\partial^2 E}{\partial \zeta_0^2}(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$
- Lập bảng xét dấu của $b^2 - ac$, a và kết luận về điểm $E(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$ như sau:

Bảng 2.1. Bảng kiểm tra tính cực tiểu của điểm E

$b^2 - ac$	a	Kết luận về điểm $E(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$
-	-	Cực đại
	+	Cực tiểu
+		Không có cực trị
0		Điểm nghi ngờ

Sau khi kiểm tra tính cực tiểu của điểm $E(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$ theo bảng 2.1 và khẳng định được giá trị $E(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt})$ chính là giá trị cực tiểu, ta thay $\omega_{0opt}, \zeta_{0opt}$ vào biểu thức (2.32) để tìm các giá trị tối ưu của k_0, c_0 . Bước tiếp theo là kiểm tra $E_{min} < 1$.

Ví dụ 2.1. Tính bộ TMD thụ động cho hệ hai bậc tự do chịu kích động điều hoà.

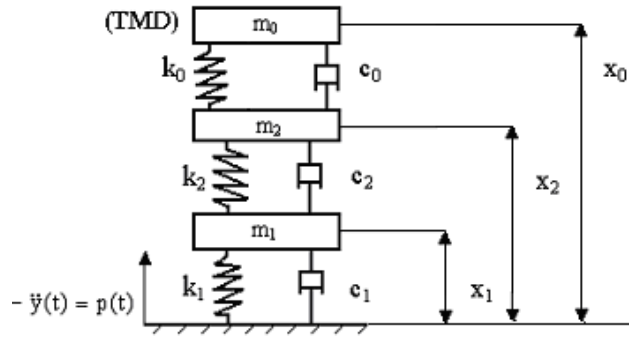
Khảo sát mô hình dao động của hệ hai bậc tự do có khối lượng là m_1, m_2 , độ cứng là

k_1, k_2 , hệ số cản nhớt là c_1, c_2 , chịu kích động từ nền có gia tốc là tổng của hai hàm điều hòa:

$$F_i(t) = m_i p(t) = m_i (a_1 \sin(\Omega t) + a_2 \sin(2\Omega t)) \quad \text{với } i = 0, 1, 2 \quad (2.44)$$

Bộ TMD thụ động có khối lượng m_0 , độ cứng k_0 , hệ số cản nhớt c_0 được thể hiện trên Hình 2.9. Phương trình của kích động điều hòa có dạng (2.44) với $i=0, 1, 2$. Phương trình chuyển động của hệ có gắn bộ TMD thụ động được viết dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_0 & -c_0 \\ 0 & -c_0 & c_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_0 & -k_0 \\ 0 & -k_0 & k_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 p(t) \\ m_2 p(t) \\ m_0 p(t) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$



Hình2. 9. Hệ hai bậc tự do có gắn bộ TMD thụ động

Ta đưa vào các kí hiệu (2.32) với $i = 0, 1, 2$. Nghiệm của (2.45) được tìm dưới dạng của (2.44) với $i = 0, 1, 2$. Thay thế các phương trình (2.34), (2.35) vào hệ phương trình (2.45) và cân bằng các hệ số của $\sin(k\Omega t)$, $\cos(k\Omega t)$ ở hai vế ta thu được hệ phương trình đại số (2.36). Sau khi giải hệ phương trình (2.36) với $i=0, 1, 2$ thu được $u_{1k}, v_{1k}, u_{2k}, v_{2k}$ và thay chúng vào công thức (2.37) với $m=2$ ta có bình phương biên độ của x_1 và x_2

$$A_1^2 = A_1^2(\Omega, \omega_i, \zeta_i, \mu_i, a_1, \eta_2) \quad i=0(1)2 \quad (2.46)$$

$$A_2^2 = A_2^2(\Omega, \omega_i, \zeta_i, \mu_i, a_1, \eta_2) \quad i=0(1)2 \quad (2.47)$$

Phương trình vi phân chuyển động của hệ khi không có bộ TMD thụ động được viết như sau

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 p(t) \\ m_2 p(t) \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Làm tương tự như trường hợp có gắn bộ thụ động ta có bình phương biên độ của x_1 và x_2 là A_{10}^2 và A_{20}^2 . Từ (2.39)-(2.41), sử dụng các nghiệm A_1^2, A_2^2, A_{10}^2 và A_{20}^2 , ta có

$$E = E(\omega_1, \zeta_1, \omega_2, \zeta_2, \mu_2, \omega_0, \zeta_0, \mu_0, \Omega, \eta_2) \quad (2.49)$$

Xét bài toán với các thông số cụ thể

$$\psi_1 = 0.6, \psi_2 = 0.4, k_1 = 5000(\text{kN/m}), m_1 = 500(\text{kg}), \omega_1 = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} = 100(\text{rad/s})$$

$$k_2 = 100(\text{kN/m}), \zeta_1 = 0.05, \zeta_2 = 0.07, \mu_0 = 0.04, \mu_2 = 0.5, \omega_2 = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} = 20(\text{rad/s})$$

$$\Omega = 10(\text{rad/s}), \eta_2 = 1$$

(2.50)

Giá trị của E sẽ phụ thuộc vào hai tham số ω_0, ζ_0 . Giải hệ phương trình (2.46) ta thu được các tham số tối ưu của bộ TMD thụ động như sau

$$\omega_{0opt} = 19,28(\text{rad/s}), \zeta_{0opt} = 1,68 \cdot 10^{-4} \quad (2.51)$$

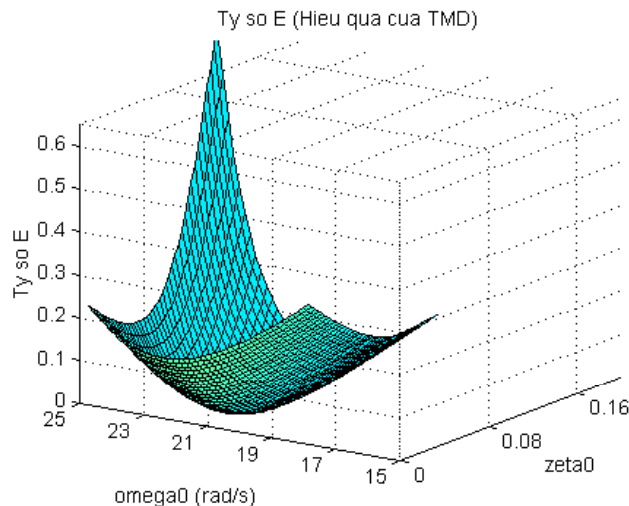
Dựa vào đồ thị (Hình 2.10) của E theo hai tham số ω_0, ζ_0 ta thấy $E(\omega_{0opt}, \zeta_{0opt}) = 0,0648 \ll 1$ là giá trị cực tiểu. Dựa vào bảng 2.1 tính cực tiểu của E được khẳng định khi các giá trị $b^2 - ac < 0$ và $a > 0$ như sau:

$$a = 0,07 > 0, \quad b^2 - ac = -0.11 < 0$$

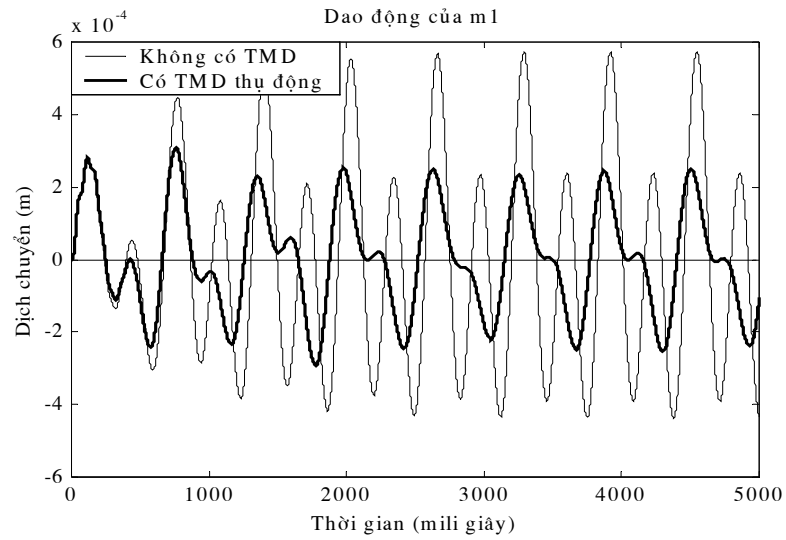
Thay các giá trị ζ_{0opt} và ω_{0opt} vào (2.32), các hệ số cản nhớt và hệ số độ cứng tối ưu của bộ TMD thụ động tính được như sau

$$k_{0opt} = 7,43(\text{kN/m}), c_{0opt} = 1,296 \cdot 10^{-4}(\text{kNs/m})$$

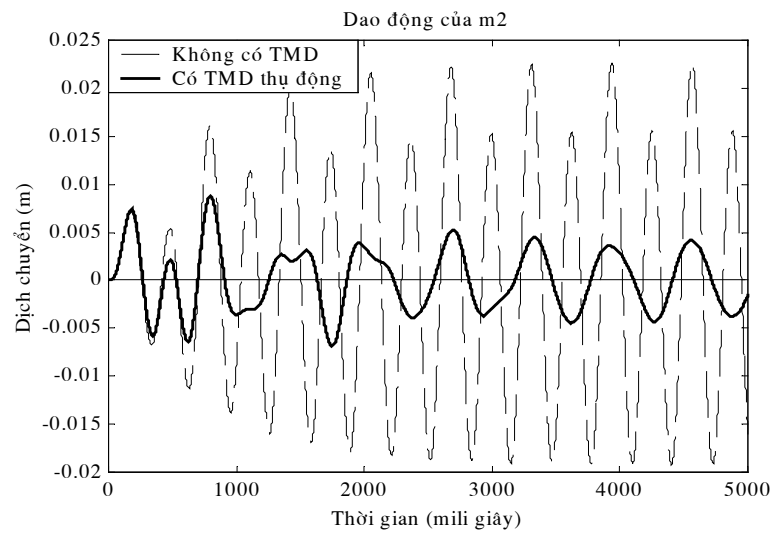
Trong trường hợp các tham số của bộ TMD thụ động không được lựa chọn đúng, chẳng hạn, $\omega_0 = 10(\text{rad/s})$; $\zeta_0 = 0,01$; $E = 1,16 > 1$, bộ TMD thụ động làm dao động của hệ tăng lên.



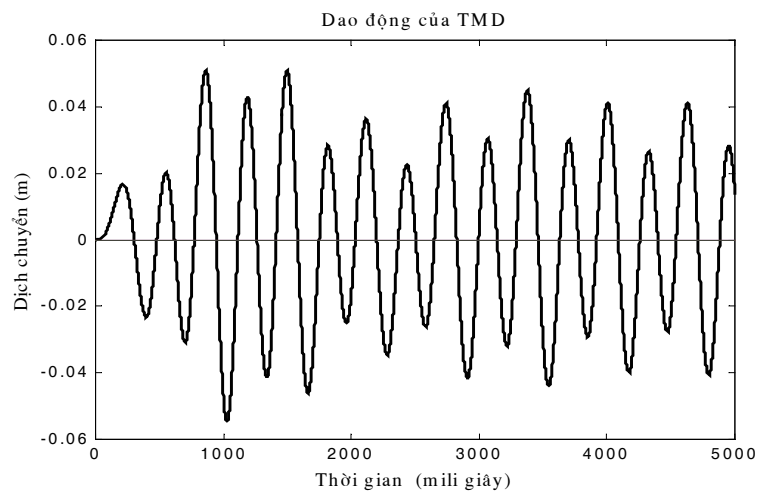
Hình 2.10. Đồ thị của $E(\omega_0, \zeta_0)$ theo ω_0, ζ_0



Hình 2.11. Mô phỏng dao động x_1 (m)



Hình 2.12. Mô phỏng dao động x_2 (m)

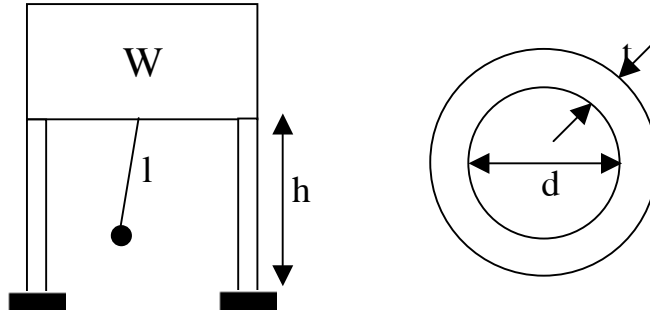


Hình 2.13. Mô phỏng dao động của TMD

Từ việc mô phỏng dao động của vật m_1 và vật m_2 trên hình 2.11 và hình 2.12, ta nhận thấy rằng nhờ có gắn bộ TMD tối ưu dao động của hệ chính đã giảm đi đáng kể.

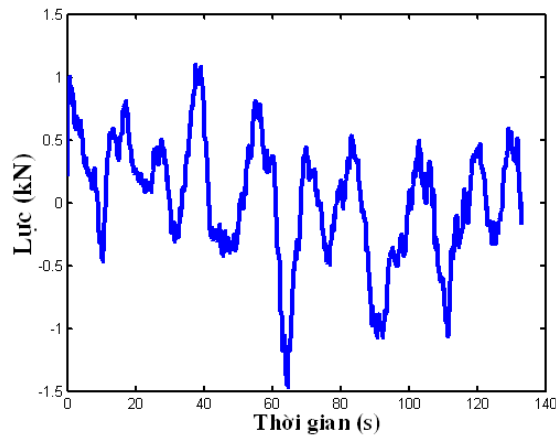
Ví dụ 2.2: Kết cấu chịu tải trọng gió

Một bể chứa nước được đỡ bởi 4 cột thép như trên Hình 2.14



Hình 2.14: Mô hình kết cấu được treo TMD dạng con lắc và mặt cắt ngang của cột đỡ kết cấu

Bốn cột thép có mô đun đàn hồi $E = 0.3E+11$ Pa, có dạng rỗng với đường kính trong $d=25$ cm, độ dày $t = 3$ cm và chiều cao $h=20$ m. Khối lượng bể chứa nước khoảng 5 tấn, bỏ qua khối lượng cột. Bể chứa nước chịu kích động gió được mô tả bởi bản ghi như trên Hình 2.15.



Hình 2.15: Kích động gió tác động vào kết cấu

Kích động gió trên Hình 2.15 là một mẫu được lấy bằng cách tổ hợp ngẫu nhiên các hàm điều hoà có tần số từ 0 đến 3Hz với biên độ khác nhau. Bài toán đặt ra là thiết kế một TMD dạng con lắc có khối lượng bằng 1% khối lượng bể nước, treo dưới bể chứa nhằm mục đích giảm dao động của bể. Như đã biết trong các giáo trình về dao động, độ cứng của một cột đỡ là $3EIh^{-3}$, với I là mômen quán tính của mặt cắt quanh trục uốn. Mômen quán tính được tính theo biểu thức:

$$I = \frac{\pi}{64} \left[(d + 2t)^4 - d^4 \right]$$

độ cứng của một cột là: $k = \frac{12EI}{h^3}$

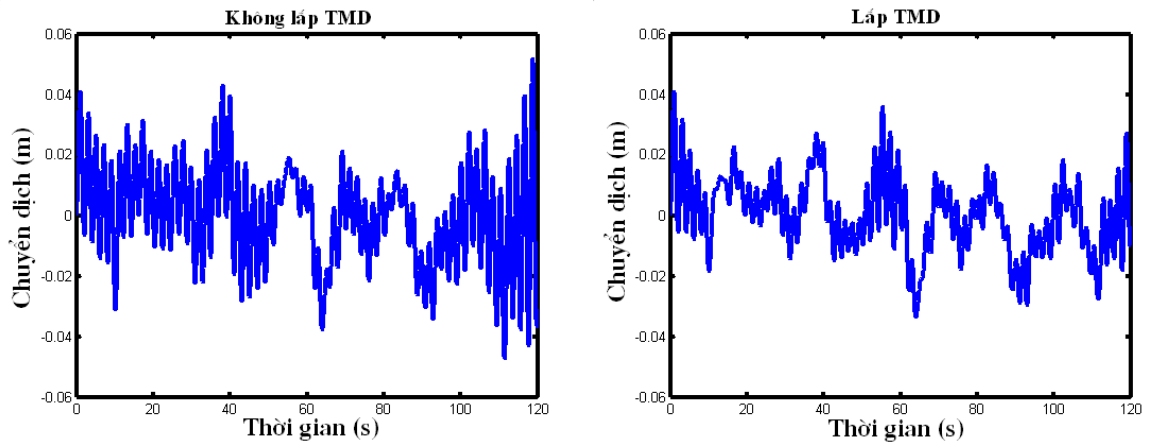
Tần số riêng của kết cấu: $\omega_s = \sqrt{k/m} \approx 3.07 \text{ rad/s}$

Giả sử thiết kế TMD dạng con lắc theo chỉ tiêu phương sai. Từ các lời giải tối ưu ta thu được chiều dài và độ cản tối ưu của con lắc là:

$$l_d = \frac{g}{\omega_d^2} = \frac{g}{\alpha_{opt}^2 \omega_s^2} = \frac{g(1+\mu)^2}{\omega_s^2(1+\mu/2)} = \frac{1.01^2 mg}{1.005k} \approx 1.046 \text{ m}$$

$$c_d = 2\xi_{opt}m_d\omega_d = 2\mu\alpha_{opt}\xi_{opt}m\omega_s = 2\mu\frac{1}{1+\mu}\sqrt{\frac{\mu(1+3\mu/4)}{4(1+\mu)}}m\omega_s \approx 15.25 \text{ Ns/m}$$

Với kích động gió như đã cho, kết quả giải phương trình chuyển động được cho trên Hình 2.16.

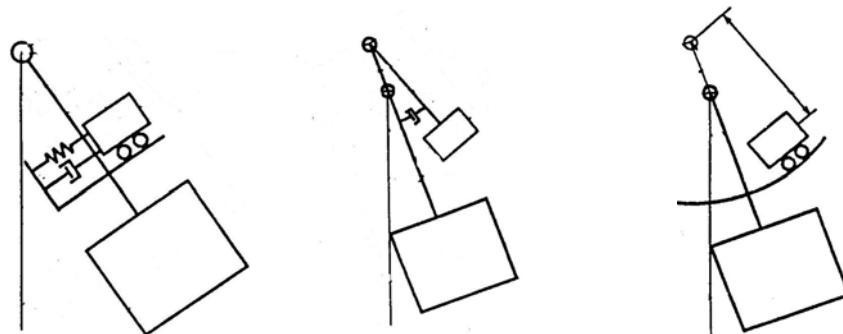


Hình 2.16: Chuyển dịch của kết cấu khi chưa lắp và có lắp TMD

Ta thấy với 1% khối lượng kết cấu, TMD cũng có khả năng giảm được dao động.

Hệ chính dạng con lắc

Các kết cấu treo như cầu treo, các xe trượt trên cáp treo có thể coi là các hệ con lắc. Với hệ chính dạng con lắc, TMD có thể là dạng con lắc hoặc dạng lò xo. Chẳng hạn ta xét một số mô hình lắp đặt TMD vào xe trượt trên cáp treo:



Hình 2.17: Một số mô hình của hệ con lắc có lắp TMD

Mô hình 1 là TMD dạng lò xo. Với mô hình 2, ta dễ dàng thấy rằng đây là TMD dạng con lắc. Trong mô hình 3, khối lượng của TMD chuyển động trên một cung tròn bán kính l_d , vì thế tương đương với con lắc có chiều dài l_d . Để đơn giản, ta xét 4 chỉ tiêu với trường hợp không có gia tốc điểm treo $a_g=0$ và hệ chính là con lắc ($k=0$). Do $k=0$ nên ta suy ra:

$$\frac{g}{\omega_s^2 l} = 1 \quad (2.52)$$

Phương trình vi phân chuyển động được rút gọn thành:

$$\begin{bmatrix} 1 + \mu\gamma^2 & \mu\gamma \\ \mu\gamma & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{u} \end{bmatrix} + \omega_s \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2\xi\alpha\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{u} \end{bmatrix} + \omega_s^2 \begin{bmatrix} 1 + \mu\gamma & \mu \\ \mu & \mu\alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p(t) \\ m \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Chỉ tiêu cực tiểu đỉnh đáp ứng

Thực hiện như đã làm ở trên ta thu được biên độ phức của chuyển dịch kết cấu:

$$\hat{x} = \frac{A + iB\xi}{C + iD\xi} \frac{\hat{p}}{m\omega_s^2} \quad (2.54)$$

Với

$$\begin{aligned} A &= \alpha^2 - \beta^2 & B &= 2\alpha\beta \\ C &= \alpha^2 - \beta^2 - \alpha^2\beta^2 + \beta^4 - \alpha^2\beta^2\gamma^2\mu + (\alpha^2 + \beta^2)\gamma\mu - \mu \\ D &= 2\alpha\beta(\beta^2 + \beta^2\gamma^2\mu - \gamma\mu - 1) \end{aligned} \quad (2.55)$$

Lúc này biểu thức (2.54) có dạng như (2.1). Kết quả giải hệ (2.4), (2.5), (2.7), (2.10), (2.11) và (2.12) là:

$$(\beta_{1,2})^2 = \frac{1 + \alpha^2(1 + \gamma^2\mu) m \sqrt{\left[1 + \alpha^2(1 + \mu\gamma^2)\right]^2 - (2 + \mu\gamma^2)[2\alpha^2(1 + \gamma\mu) - \mu]}}{2 + \gamma^2\mu} \quad (2.56)$$

$$\alpha_{opt} = \frac{\sqrt{1 + \mu\gamma(2 + \gamma^2\mu)}}{1 + \mu\gamma^2} \quad (2.57)$$

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{\mu(\gamma - 1)^2 [3 + \mu\gamma(5 + 2\mu\gamma^2)]}{4(1 + \mu\gamma^2)(1 + 2\mu\gamma + \mu^2\gamma^3)(2 - \mu + 6\gamma\mu + 2\gamma^2\mu^2 + 2\gamma^3\mu^2 + \gamma^4\mu^3)}} \quad (2.58)$$

Các biểu thức của ξ_1 và ξ_2 không viết ở đây vì tương đối dài. Hệ (2.57) và (2.58) cho 2 phương trình để tìm lời giải tối ưu của TMD. Trong các phương trình này xuất hiện thêm tham số γ xác định vị trí của TMD. Tham số γ chứa độ dài của TMD dạng con lắc và không chứa độ cứng của TMD dạng khối lượng - lò xo. Vì vậy nếu như các tham số của TMD dạng khối lượng - lò xo có thể tìm được dễ dàng từ hai phương trình (2.57) và (2.58) thì vấn đề tìm các tham số của TMD dạng con lắc rất phức tạp.

Với TMD dạng con lắc, phương trình (2.57) trở thành một phương trình phi tuyến với chiều dài con lắc. Trong một số trường hợp nếu không cần tính toán quá chính xác thì có thể gần đúng phương trình (2.57) thành:

$$\alpha_{opt} = 1 \quad (2.59)$$

Và lúc này có thể tìm được chiều dài con lắc. Tuy nhiên cần nhấn mạnh là đây là lời giải gần đúng.

Chỉ tiêu cực tiểu phương sai

Phương trình chuyển động được viết dưới dạng phương trình trạng thái như sau:

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{S}\mathbf{z} + \mathbf{H}_p \mathbf{p} \quad (2.60)$$

Trong đó \mathbf{z} là vectơ trạng thái. \mathbf{H}_p là ma trận định vị của kích động do lực tác động vào hệ chính và \mathbf{S} là ma trận hệ thống:

$$\mathbf{H}_p = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/m & -\gamma/m \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\omega_s^2 & \mu\gamma\alpha^2\omega_s^2 - \mu\omega_s^2 & 0 & 2\xi\mu\gamma\alpha\omega_s \\ (\gamma-1)\omega_s^2 & -(\alpha^2 + \alpha^2\gamma^2\mu - \gamma\mu)\omega_s^2 & 0 & -2\xi(1+\mu\gamma^2)\alpha\omega_s \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

Giải phương trình ma trận Lyapunov (2.14) ta thu được ma trận phương sai. Biểu thức giải tích của ma trận phương sai quá dài nên không được ghi vào đây. Các giá trị tối ưu của α và ξ được tìm làm cực tiểu phương sai của \mathbf{x} là P_{11} . Nghiệm giải tích trong trường hợp có thể thu được nhưng rất dài. Nếu ta bỏ những đại lượng bậc cao thì lời giải gần đúng là

$$\alpha_{opt} = \frac{\sqrt{1 + \mu\gamma + \frac{\mu}{4}(\gamma^2 - 1)}}{1 + \mu\gamma^2} \quad (2.63)$$

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{2(\gamma-1)^2\mu}{2 + \mu(6\gamma - 5\gamma^2 - 3)}} \quad (2.64)$$

Chỉ tiêu cực đại khả năng TTNL

Để xác định lực do TMD tác động vào hệ chính, xuất phát từ phương trình chuyển động. Nhân hàng thứ 2 với $-\gamma$ rồi cộng với hàng thứ nhất, sau đó nhân với m ta được

$$m\ddot{x} + \frac{mg}{l}x = p + 2m\xi\alpha\mu\omega_s\dot{x}_d + m\mu(\gamma\alpha^2 - 1)\omega_s^2x_d \quad (2.65)$$

Vậy lực do TMD tác động vào hệ chính là:

$$f_{TMD} = 2m\xi\alpha\mu\omega_s\dot{x}_d + m\mu(\gamma\alpha^2 - 1)\omega_s^2x_d \quad (2.66)$$

Thay vào (2.16) ta thu được biểu thức của tỷ số cản tương đương:

$$\xi_{eq} = \frac{-2\xi\mu\alpha\langle x_d^2 \rangle - (\gamma\alpha^2 - 1)\mu\omega_s\langle x_d \rangle}{2\langle x^2 \rangle} \quad (2.67)$$

Thay các thành phần tương ứng của ma trận phương sai ta có

$$\xi_{eq} = \frac{-2\xi\mu\alpha P_{34} - (\gamma\alpha^2 - 1)\mu\omega_s P_{32}}{2P_{33}} = \frac{\alpha(\gamma - 1)^2 \mu \xi}{1 + \mu + \alpha^4(1 + \gamma^2 \mu) + 2\alpha^2(1 + \gamma\mu)(2\xi^2 - 1)} \quad (2.68)$$

Các giá trị tham số làm cực đại tỷ số cản tương đương là:

$$\alpha_{opt} = \sqrt{\frac{1 + \gamma\mu}{1 + \gamma^2 \mu}}; \quad \xi_{opt} = \frac{\sqrt{\mu(\gamma - 1)^2}}{2(1 + \gamma\mu)} \quad (2.69)$$

và tỷ số cản tương đương tối ưu là:

$$\xi_{eq_opt} = \frac{\sqrt{\mu(1 + \gamma^2 \mu)(\gamma - 1)^2}}{4\sqrt{1 + \gamma\mu}} \quad (2.70)$$

Qua các biểu thức trên ta thu được nhận xét thú vị cho hệ chính dạng con lắc: nếu vị trí khối lượng của TMD càng gần vị trí khối lượng của hệ chính ($|\gamma - 1| \approx 0$) thì tỷ số cản càng bé. Khi 2 vị trí này trùng nhau ($\gamma = 1$) thì TMD hoàn toàn không hiệu quả. Bản chất của vấn đề là: hệ chính là con lắc khi dao động sẽ làm xuất hiện gia tốc ly tâm vào TMD, làm giảm hiệu quả của TMD. Kết quả này được Matsuhisa phát hiện.

Chỉ tiêu ổn định

Đa thức đặc trưng của ma trận (2.62) có dạng bậc 4 như (2.17), trong đó

$$\begin{aligned} a_4 &= 1; \quad a_3 = 2\alpha(1 + \gamma^2 \mu)\xi\omega_s; \quad a_2 = (1 + \alpha^2 + \alpha^2\gamma^2\mu - \gamma\mu)\omega_s^2; \\ a_1 &= 2\alpha\xi\omega_s^3(1 + \gamma\mu); \quad a_0 = \alpha^2(1 + \gamma\mu)\omega_s^4 - \mu\omega_s^4 \end{aligned} \quad (2.71)$$

Giải hệ phương trình (2.20) ta được:

$$\alpha_{opt} = \frac{\sqrt{1 + \mu \left[1 + \gamma(2 + 3\gamma\mu + \gamma^3 \mu^2) \right]}}{(1 + \gamma^2 \mu)\sqrt{1 + \gamma\mu}} \quad (2.72)$$

$$\xi_{opt} = \frac{\sqrt{\mu(\gamma - 1)^2}}{\sqrt{(1 + \gamma^2 \mu) \left[1 + \mu \left[1 + \gamma(2 + 3\gamma\mu + \gamma^3 \mu^2) \right] \right]}} \quad (2.73)$$

Thay các giá trị này vào phương trình đặc trưng giải ra, cuối cùng thu được chỉ số cản hay độ giảm loga theo (2.18) là:

$$\xi_{1,2_opt} = -\frac{\text{Re}(\lambda_{1,2})}{|\lambda_{1,2}|} = \frac{\sqrt{\mu(\gamma - 1)^2}}{2 + 2\gamma\mu} \quad (2.74)$$

Một lần nữa ta thấy rằng nếu $\gamma=1$ thì chỉ số cân bằng 0, TMD không hiệu quả

Hệ chịu kích động ngẫu nhiên

Tiêu chuẩn đánh giá

Trong trường hợp cơ hệ chịu kích động ngẫu nhiên ồn trắng hoặc ồn màu, mục tiêu chọn bộ TMD thụ động tối ưu là cực tiểu tổng các mô men bậc hai của các thành phần thuộc cơ hệ. Để đơn giản khi tính toán, ta ký hiệu $\langle x_i^2 \rangle$ là đáp ứng mô men bậc hai của khối lượng m_i khi hệ chính có sử dụng bộ TMD thụ động. $\langle x_{i0}^2 \rangle$ là đáp ứng mô men bậc hai của khối lượng m_i khi hệ chính không sử dụng bộ TMD thụ động. Mục đích của việc tính toán là tìm cặp thông số của bộ TMD thụ động bao gồm độ cứng và hệ số cản nhớt thỏa mãn điều kiện sau

$$E = \frac{R}{R_0} \Rightarrow \min_{\omega_0, \zeta_0}, \quad (2.75)$$

ở đây

$$R = \sum_{i=1}^n \psi_i \langle x_i^2 \rangle \quad \text{tổng các đáp ứng bình phương trung bình của các phần tử của cơ hệ có gắn bộ TMD thụ động.} \quad (2.76)$$

$$R_0 = \sum_{i=1}^n \psi_i \langle x_{i0}^2 \rangle \quad \text{tổng các đáp ứng bình phương trung bình của các phần tử của cơ hệ không gắn bộ TMD thụ động.} \quad (2.77)$$

$$\psi_i \text{ là hệ số ưu tiên } (0 \leq \psi_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \psi_i = 1) \quad (2.78)$$

Tỷ số E biểu thị hiệu quả của bộ TMD thụ động. Khi $E < 1$ bộ TMD thụ động có tác dụng tốt, ngược lại nếu $E > 1$ bộ tham số được chọn không đúng, việc gắn bộ TMD thụ động làm cho hệ dao động mạnh hơn khi không gắn. Trong phần sau, các giá trị của $\langle x_i^2 \rangle$, $\langle x_{i0}^2 \rangle$ cũng như tỷ số E sẽ được nghiên cứu cho cơ hệ chịu kích động ồn trắng, ồn màu bậc nhất và bậc hai.

Hệ chịu kích động ngẫu nhiên ồn trắng

Kích động lên cơ hệ được biểu diễn dưới dạng (2.31) trong đó

$$\ddot{x}(t) = \sigma \xi(t) \quad (2.79)$$

với σ là hằng số dương, $\xi(t)$ là quá trình ồn trắng Gauss với mật độ phổ bằng đơn vị. Biến đổi hệ phương trình (2.26) sang hệ phương trình vi phân ngẫu nhiên Ito bậc nhất ta có

$$\begin{aligned} \dot{X} &= Y \\ \dot{Y} &= \Phi(X, Y) + M^{-1}F(t) \end{aligned} \quad (2.80)$$

$$\text{ở đây} \quad \Phi(X, Y) = -M^{-1}CX - M^{-1}KY \quad (2.81)$$

Từ hệ phương trình (2.80), ta có thể nhận được phương trình mômen (Roberts và Spanos)

$$\sum_{i=0}^n \left[\left\langle y_i \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right\rangle + \left\langle g_i(\cdot) \frac{\partial \Phi}{\partial y_i} \right\rangle \right] + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sigma^2 \left\langle \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y_i \partial y_j} \right\rangle = 0 \quad (2.82)$$

ở đây $\langle \dots \rangle$ là kì vọng toán học, g_i là các thành phần của vectơ Φ . Hàm Φ được chọn như sau

$$\Phi = x_i x_j, x_i y_j, y_i y_j \text{ với } i, j = 0(1)n \quad (2.83)$$

Thế (2.83) vào (2.82), và giải hệ (2.82), ta tìm được đáp ứng bình phương trung bình của các thành phần của hệ theo thông số của cơ hệ

$$\langle x_j^2 \rangle = \alpha_j(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \sigma), i, j = 0(1)n \quad (2.84)$$

Ta ký hiệu $\langle x_{j0}^2 \rangle$ là đáp ứng bình phương trung bình của khối lượng m_i của cơ hệ không gắn bộ TMD thụ động. Giải hệ phương trình tương ứng ta có

$$\langle x_{j0}^2 \rangle = \alpha_{j0}(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \sigma), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.85)$$

Từ (2.39), (2.40), (2.41), (2.42), (2.43), (2.44) ta có

$$E = E(\omega_i, \zeta_i, \mu_i), i = 0(1)n \quad (2.86)$$

Cho trước các giá trị của $\psi_i, \omega_i, \zeta_i, \mu_i$ ($i=1(1)n$), và μ_0 , giá trị của E sẽ phụ thuộc vào hai thông số ω_0, ζ_0 . Giải hệ phương trình (2.46) ta nhận được các giá trị của ω_0, ζ_0 . Sau khi kiểm tra tính cực tiểu của E theo ω_0, ζ_0 , thế các giá trị này vào (2.32) ta xác định được hệ số cản nhớt và hệ số độ cứng tối ưu của bộ TMD thụ động.

b. Phân tích kỹ thuật điều khiển tích cực

Mô hình hệ dao động nhiều bậc tự do có gắn bộ TMD tích cực

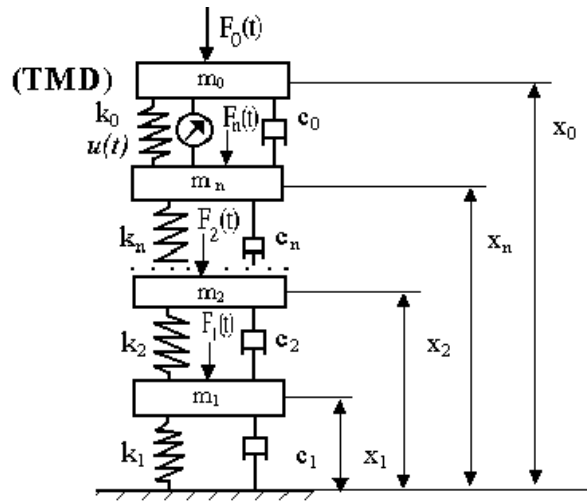
Trên hình 2.18 mô tả sơ đồ hệ dao động n bậc tự do có gắn bộ TMD tích cực. Ngoại lực $F(t)$ với các dạng khác nhau sẽ được trình bày kỹ trong phần sau.

Phương trình chuyển động của hệ được mô tả bởi hệ phương trình vi phân tuyến tính

$$M\ddot{X}(t) + C\dot{X}(t) + KX(t) = F(t) + Nu(t) \quad (2.87)$$

ở đây, M là ma trận vuông bậc $(n+1) \times (n+1)$ khối lượng, $X(t)$ là vectơ bậc $(n+1) \times 1$ chuyển dịch tương đối giữa các khối lượng và nền, C, K là ma trận vuông bậc $(n+1) \times (n+1)$ độ nhớt và độ cứng

$$X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), x_0(t))^T \quad (2.88)$$



Hình 2.18: Hệ chịu tác động của ngoại lực

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & m_n & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & m_0 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & c_{n-1} + c_n & -c_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & c_n + c_0 & -c_0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -c_0 & c_0 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{n-1} + k_n & -k_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & k_n + k_0 & -k_0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -k_0 & k_0 \end{bmatrix} \quad (2.89)$$

Ngoại lực tác động động được biểu diễn như sau

$$F(t) = [F_1 \quad F_2 \quad \dots \quad F_n \quad F_0]^T \quad (2.90)$$

Lực ngoại lực tác động $F(t)$ được xem như là lực kích động do gia tốc nền ($-\ddot{u}(t)$).

Từ đây, lực tác động $F(t)$ có dạng

$$F(t) = \begin{bmatrix} -\ddot{u}(t)m_1 \\ -\ddot{u}(t)m_2 \\ \vdots \\ -\ddot{u}(t)m_n \\ -\ddot{u}(t)m_0 \end{bmatrix} \quad (2.91)$$

Trong các phần tiếp theo sẽ xét kích động nền là các kích động điều hòa, ổn định.

Véc tơ hệ số của lực điều khiển N gồm $n+1$ phần tử

$$N = [0, 0, \dots, 1, -1]^T \quad (2.92)$$

$u(t)$ là đại lượng vô hướng. Ta sử dụng vectơ trạng thái

$$Z(t) = [X, \dot{X}]^T \quad (2.93)$$

Phương trình chuyển động được viết lại dưới dạng phương trình trạng thái như sau

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) + Bu(t) + HF(t) \quad (2.94)$$

Các ma trận $A(2n+2) \times (2n+2)$, $H(2n+2) \times (n+1)$, vectơ $B(2n+2) \times 1$ có dạng

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}N \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1} \end{bmatrix} \quad (2.95)$$

với I là ma trận đơn vị cấp $n+1$, 0 là ma trận không cấp $n+1$.

Hiệu quả của bộ TMD thụ động có thể được nâng cao bởi một lực điều khiển tác động vào bộ TMD thụ động. Mục tiêu của nghiên cứu là xác định lực điều khiển tối ưu $u(t)$ theo chỉ số chất lượng của điều khiển như sau

$$J = \frac{1}{2} \left\langle \int_0^T [Z^T(t)QZ(t) + \beta u^2(t)] dt \right\rangle \rightarrow \min_{u(t)} \quad (2.96)$$

trong đó, T là thời gian điều khiển, β là hệ số ưu tiên có giá trị không âm

$Q_{(2n+2) \times (2n+2)}$ là ma trận hệ số ưu tiên xác định không âm.

Đặt

$$f_0(Z, u) = [Z^T(t)QZ(t) + \beta u^2(t)]$$

ta có

$$J(Z, u) = \int_0^T f_0(Z, u) dt$$

$$J(Z + \delta Z, u + \delta u) = \int_0^T f_0(Z + \delta Z, u + \delta u) dt$$

$$\delta J = J(Z + \delta Z, u + \delta u) - J(Z, u) = \int_0^T \left[\frac{\partial f_0}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f_0}{\partial u} \delta u \right] dt \quad (2.97)$$

trong đó

$$\frac{\partial f_0}{\partial Z} = \left(\frac{\partial f_0}{\partial Z_1}, \frac{\partial f_0}{\partial Z_2}, \dots, \frac{\partial f_0}{\partial Z_{2n+2}} \right)$$

Ngoài ra cùng với (2.94)

$$\dot{Z} = AZ + Bu(t) + HF(t) = f(Z, u, F)$$

và

$$\delta \mathcal{L} = f(Z + \delta Z, u + \delta u, F)$$

ta có

$$\begin{aligned} \delta \mathcal{L} &= f(Z + \delta Z, u + \delta u, F) - f(Z, u, F) = \frac{\partial f}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f}{\partial u} \delta u \\ &\Rightarrow \frac{\partial f}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f}{\partial u} \delta u - \delta \mathcal{L} = 0 \end{aligned} \quad (2.98)$$

trong đó

$$\frac{\partial f}{\partial Z} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \Lambda & \frac{\partial f_1}{\partial Z_{2n+2}} \\ M & & M \\ \frac{\partial f_{2n+2}}{\partial Z_1} & \Lambda & \frac{\partial f_{2n+2}}{\partial Z_{2n+2}} \end{pmatrix}$$

và $\delta Z(0) = 0$, vì điểm đầu $Z(0) = Z_0$ là điểm xác định cho trước.

Để kết hợp được (2.98) và (2.97), ta phải chuyển (2.98) về dạng một số vô hướng bằng cách nhân hai vế của (2.98) với nhân tử Lagrange $\lambda^T(t)$ (tích vô hướng của hai véctơ) như sau

$$\lambda^T \left[\frac{\partial f}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f}{\partial u} \delta u - \delta \mathcal{L} \right] = 0 \quad (2.99)$$

Cộng biểu thức dưới dấu tích phân của (2.96) với (2.98) ta được

$$\delta J = \int_0^T \left\{ \frac{\partial f_0}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f_0}{\partial u} \delta u + \lambda^T \left[\frac{\partial f}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial f}{\partial u} \delta u - \delta \mathcal{L} \right] \right\} dt$$

Tiếp theo áp dụng công thức tích phân từng phần sẽ đi đến

$$\delta J = -\lambda^T(T) \delta Z(T) + \lambda^T(0) \delta Z(0) + \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial f_0}{\partial u} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial u} \right) \delta u + \left(\mathcal{K}^T + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial Z} + \frac{\partial f_0}{\partial Z} \right) \delta Z \right\} dt$$

Ta đưa vào điều kiện

$$\mathcal{K}^T + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial Z} + \frac{\partial f_0}{\partial Z} = 0 \quad (2.100)$$

Với điều kiện biên $\lambda^T(T) = 0$ và $Z(0) = Z_0$ nên

$$\begin{cases} \lambda^T(T) \delta Z(T) = 0 \\ \lambda^T(0) \delta Z(0) = 0 \end{cases}$$

$$\text{Ta có,} \quad \delta J = \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial f_0}{\partial u} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial u} \right) \delta u \right\} dt \quad (2.101)$$

Đến đây ta dùng kí hiệu hàm Hamilton có chứa véc tơ nhân tử Lagrange $\lambda(t)$ như sau

$$\mathcal{H} = \frac{1}{2} Z^T(t) Q Z(t) + \frac{1}{2} \beta u^2(t) + \lambda^T (AZ + Bu + HF)$$

Từ (2.94) và (2.100) kết hợp sử dụng hàm Hamilton, ta có

$$\dot{Z} = \left(\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial \lambda} \right)^T; \quad \dot{\lambda} = - \left(\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial Z} \right)^T$$

công thức biến phân bậc nhất hàm mục tiêu (2.96) sẽ trở thành

$$\delta J = \int_0^T \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} \delta u dt$$

Do đó điều kiện cần của điều khiển tối ưu được xác định bởi hệ phương trình sau

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = 0, \quad \dot{\lambda} = - \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial Z} \quad (2.102)$$

Thay hàm Hamilton \mathcal{H} vào (2.102) ta thu được hệ phương trình vi phân sau đây

$$\dot{\lambda}(t) = -A^T \lambda(t) - QZ(t)$$

và mối liên hệ giữa lực điều khiển tối ưu và nhân tử Lagrăng như sau

$$u(t) = -\frac{1}{\beta} B^T \lambda(t)$$

Khi điều khiển sử dụng thông tin phản hồi từ các đáp ứng của cơ hệ ta có

$$\lambda(t) = S Z(t) \quad (2.103)$$

Ta có thể biểu diễn lực điều khiển $u(t)$ dưới dạng có chứa đáp ứng của cơ hệ

$$u(t) = -\frac{1}{\beta} B^T S Z(t) \quad (2.104)$$

$$\text{Đặt} \quad G_z = \frac{1}{\beta} B^T S \quad (2.105)$$

G_z là ma trận $1 \times (2n+1)$. Ta có

$$u(t) = -G_z Z(t) \quad (2.106)$$

ở đây ma trận $S(t)$ thỏa mãn phương trình RICCATI

$$SA + A^T S - \frac{1}{\beta} S B B^T S + Q = 0 \quad (2.107)$$

Lực điều khiển $u(t)$ được xác định theo (2.106). Đáp ứng của cơ hệ được điều khiển là nghiệm của hệ phương trình vi phân

$$\dot{Z}(t) = \left[A - \frac{1}{\beta} BB^T S(t) \right] Z(t) + HF(t) \quad (2.108)$$

Từ phương trình trạng thái (2.108) lập được ta có thể tính được đáp ứng bình phương trung bình của cơ hệ và hiệu quả của bộ hấp thụ dao động tích cực.

Bộ TMD tích cực cho hệ chịu kích động điều hòa

Lực kích động nền (2.31) có dạng hàm điều hòa tần số Ω . Lực điều khiển tìm được theo phương trình (2.106). Đặt

$$G_Z = [G_{ZX}, G_{Z\dot{X}}] \quad (2.109)$$

và thay vào (2.106) ta có

$$u(t) = -[G_{ZX}, G_{Z\dot{X}}][X, \dot{X}]^T = G_{ZX}X + G_{Z\dot{X}}\dot{X} \quad (2.110)$$

Do đó (2.26) tương đương với

$$M\ddot{X} + C_1\dot{X} + K_1X = F(t) \quad (2.111)$$

trong đó

$$C_1 = (C - NG_{Z\dot{X}}), K_1 = (K - NG_{ZX}) \quad (2.112)$$

Nghiệm của phương trình (2.111) có thể tìm được dưới dạng sau với các vectơ u và v xác định được khi giải hệ phương trình tuyến tính (2.113)

$$\begin{bmatrix} K_1 - k^2\Omega^2 M & -k\Omega C_1 \\ k\Omega C_1 & K_1 - k^2\Omega^2 M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_k \\ a_k \end{bmatrix} \quad (2.113)$$

Tổng bình phương biên độ của các phần tử của hệ sẽ thu được khi giải hệ (2.113). Sau khi tìm được tổng bình phương biên độ của các phần tử của cơ hệ với lực điều khiển tối ưu, ta kiểm tra hiệu quả của bộ TMD tích cực qua tỷ số sau đây:

$$E = \frac{R}{R_0} \quad (2.114)$$

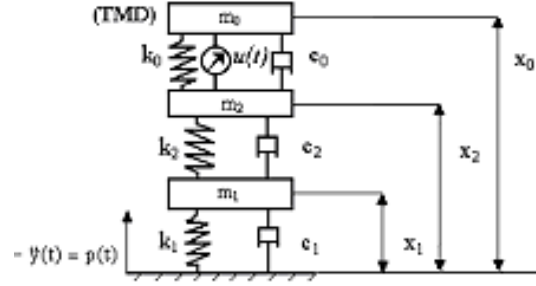
ở đây, R là tổng bình phương biên độ của các khối lượng trong cơ hệ gắn TMD tích cực. R_0 là tổng bình phương biên độ của các khối lượng trong cơ hệ không gắn TMD. Tỷ số E biểu thị hiệu quả mà TMD tích cực đem lại. Ta sẽ so sánh hai tỷ số E tương ứng của bộ TMD thụ động và của bộ TMD tích cực. Nếu chọn lực điều khiển đúng hiệu quả của bộ TMD tích cực sẽ tốt hơn nhiều bộ TMD thụ động.

Ví dụ 2.3. Tính bộ hấp thụ dao động tích cực cho hệ hai bậc tự do chịu kích động điều hoà.

Xét mô hình cơ hệ hai bậc tự do có sử dụng bộ TMD tích cực được cho trên Hình 2.19.

Bộ TMD tích cực được bố trí ở trên bao gồm khối lượng m_0 nối vào m_2 bởi một lò xo có độ cứng k_0 , một bộ cản nhớt tuyến tính có hệ số cản c_0 và một bộ tạo nguồn lực $u(t)$. Phương trình chuyển động của hệ có dạng sau

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_0 & -c_0 \\ 0 & -c_0 & c_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_0 & -k_0 \\ 0 & -k_0 & k_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 p(t) \\ m_2 p(t) \\ m_0 p(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} u(t) \quad (2.115)$$



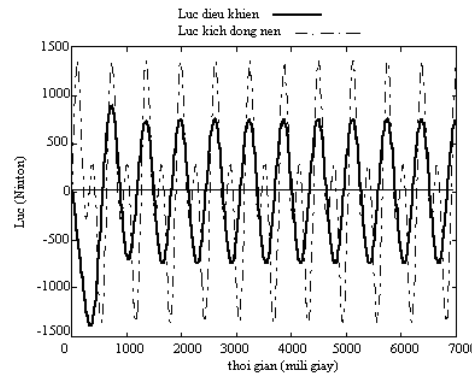
Hình 2.19. Mô hình của cơ hệ hai bậc tự do với TMD tích cực

Để xác định lực điều khiển $u(t)$ tối ưu theo (2.106) ta giải phương trình RICCATI (2.107) với các giá trị của ma trận A, B, H, F được tính theo công thức (2.95) và ma trận Q và hệ số β được cho trước như sau

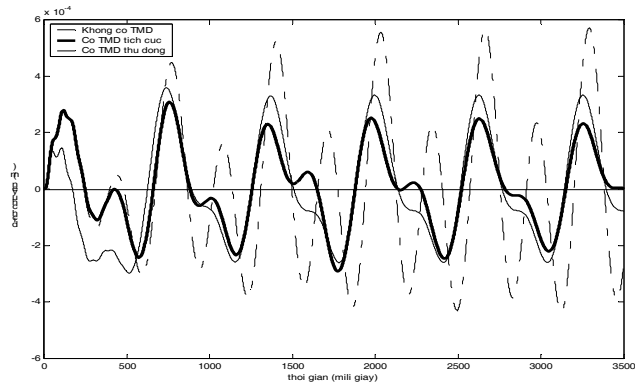
$$\beta = 10^{-12}, Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.116)$$

Giải hệ (2.107) và thay nghiệm S vào (2.104), ta có G_z :

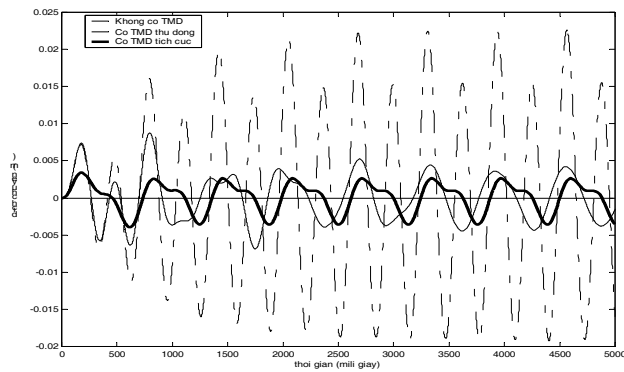
$$G_z = [0.1497 \quad 9.3567 \quad -0.0000 \quad 0.0024 \quad 0.0055 \quad -0.0169] \times 10^5 \quad (2.117)$$



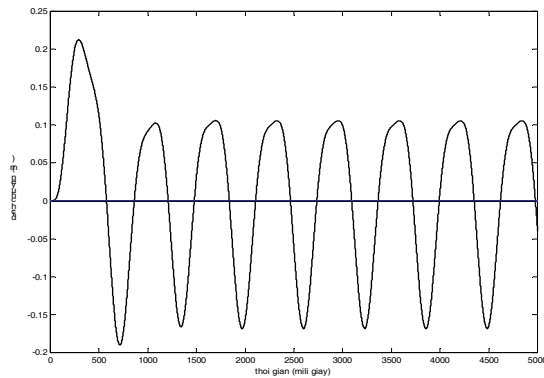
Hình 2.20. Lực $u(t)$ và $F(t)$



Hình 2.21. Dịch chuyển của khối lượng m_1



Hình 2.22. Dịch chuyển của khối lượng m_2



Hình 2.23. Dịch chuyển của bộ TMD tích cực

Giải hệ phương trình đại số (2.113) ta có thể tìm được biên độ bình phương của khối lượng m_i trong trường hợp có điều khiển. Thay các giá trị tính được vào (2.114) ta có E (tích cực) = 0,027. Như vậy lực điều khiển $u(t)$ cho kết quả giảm chấn tốt. Đồng thời lực điều khiển tính được nhỏ hơn lực kích động nền (xem Hình 2.20).

Đồ thị mô phỏng dao động của khối lượng m_1 và m_2 với các thông số tính được của bộ TMD thụ động và tích cực được mô tả trong Hình 2.21 và Hình 2.22. Đối với cơ hệ có TMD thụ động tối ưu, dịch chuyển của khối lượng m_1 và m_2 giảm so với khi không có TMD. Trong trường hợp hệ gắn bộ TMD tích cực thì các dịch chuyển của m_1 và m_2 giảm nhiều so với khi gắn bộ TMD thụ động. Hình 2.23 thể hiện dao động

của bộ TMD tích cực.

Bộ TMD tích cực cho hệ chịu kích động ổn trắng

Xét gia tốc nền là ổn trắng, lực điều khiển tối ưu $u(t)$ được tính theo công thức (2.106) và (2.107). Từ hệ phương trình (2.31) ta lập hệ phương trình vi phân ngẫu nhiên Ito bậc nhất

$$\text{với} \quad \Phi(X, Y) = -M^{-1}CY - M^{-1}KX - M^{-1}NG_z[X, Y]^T \quad (2.118)$$

Sử dụng hệ phương trình (2.118), ta có thể nhận được phương trình mômen. Giải hệ phương trình nhận được ta có thể tìm được đáp ứng bình phương trung bình của khối lượng m_i trong trường hợp có điều khiển

$$\langle x_i^2 \rangle = \alpha_i(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \sigma), \quad i = 0(1)n \quad (2.119)$$

Đặt $\langle x_{i0}^2 \rangle$ là đáp ứng bình phương trung bình của khối lượng m_i của cơ hệ trong trường hợp không có bộ TMD. Giải hệ phương trình mô men tương ứng ta nhận được $\langle x_{i0}^2 \rangle$. Sau khi tìm được các đáp ứng bình phương trung bình của các phần tử của cơ hệ, ta kiểm tra hiệu quả của TMD theo tỷ số sau:

$$E = \frac{R}{R_0} \quad (2.120)$$

ở đây, R là tổng các đáp ứng bình phương trung bình của các khối lượng trong cơ hệ có gắn TMD tích cực. R_0 là tổng các đáp ứng bình phương trung bình của các khối lượng trong cơ hệ không gắn TMD tích cực. Hiệu quả điều khiển tốt khi hệ số $E < 1$ và sẽ không tốt trong trường hợp hệ số $E > 1$. Trong trường hợp $E < 1$, lực điều khiển tối ưu được đưa vào sẽ cùng với bộ TMD thụ động làm giảm nhiều hơn năng lượng dao động của cơ hệ.

Ví dụ 2.4. Tính bộ hấp thụ dao động tích cực cho hệ hai bậc tự do chịu kích động ổn trắng.

Trong ví dụ này, ta sẽ tính hiệu quả của bộ TMD tích cực áp dụng cho cơ hệ hai bậc tự do. Mô hình cơ hệ được cho trên hình 2.19. Phương trình chuyển động của hệ được viết dưới dạng (2.115) trong đó các giá trị của các tham số được cho trước. Để xác định lực điều khiển $u(t)$ tối ưu (2.106), ta giải phương trình RICCATI (2.107) với các giá trị của ma trận A , B , được tính theo công thức (2.95) và lấy giá trị của ma trận Q và hệ số β như sau:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \beta = 10^{-10} \quad (2.121)$$

Sau khi giải hệ (2.107) và thay nghiệm S vào (2.105) ta có

$$G_z = [0.1231 \quad 7.8052 \quad 0.0000 \quad 0.0046 \quad 0.0714 \quad -0.0346] \times 10^4 \quad (2.122)$$

Để tính trung bình bình phương của hệ, ta thiết lập hệ phương trình vi phân ngẫu nhiên Ito bậc nhất trong đó g_i ($i=0(1)2$) được tính theo công thức (2.118)

$$\begin{aligned} g_0 &= \omega_0^2 x_2 - \omega_0^2 x_0 + 2\omega_0 \zeta_0 y_2 - 2\omega_0 \zeta_0 y_0 - \frac{1}{m_0} u(t) \\ g_1 &= (-\omega_1^2 - \mu_2 \omega_2^2) x_1 + \mu_2 \omega_2^2 x_2 + (-2\omega_1 \zeta_1 - 2\mu_2 \zeta_2 \omega_2) y_1 + 2\mu_2 \zeta_2 \omega_2 y_2 \\ g_2 &= \omega_2^2 (x_1 - x_2) + \frac{\mu_0}{\mu_2} \omega_0^2 (x_0 - x_2) + 2\zeta_2 \omega_2 (y_1 - y_2) + 2\frac{\mu_0}{\mu_2} \zeta_0 \omega_0 (y_0 - y_2) + \frac{1}{m_2} u(t) \\ u(t) &= G_z Z(t) \\ Z(t) &= [x_1, x_2, x_0, y_1, y_2, y_0]^T \end{aligned} \quad (2.123)$$

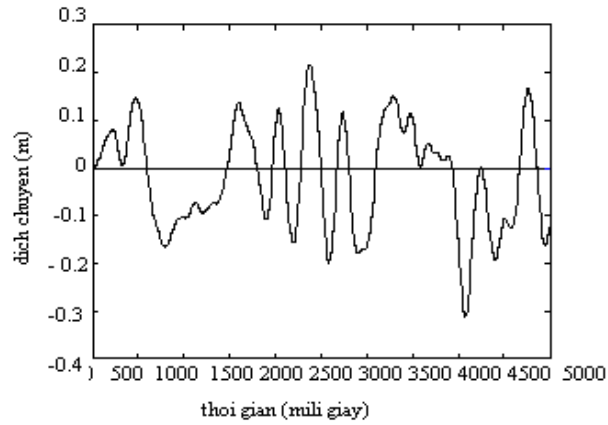
Giải hệ phương trình nhận được ta có thể tìm được đáp ứng bình phương trung bình của khối lượng m_i trong trường hợp có điều khiển

$$\langle x_i^2 \rangle = \alpha_i(\omega_i, \zeta_i, \mu_i, \sigma), i = 0, 1, 2$$

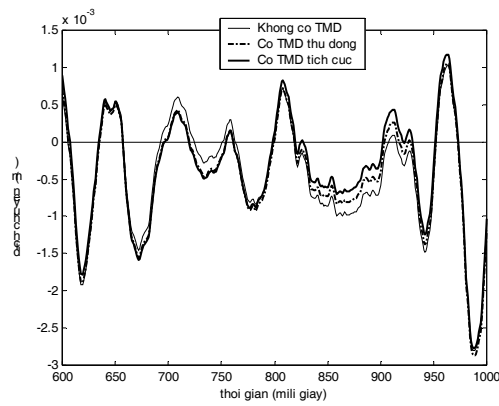
Thay các giá trị đã tính vào (2.120), ta nhận được $E(\text{tích cực}) = 0.26$ Như vậy lực điều khiển $u(t)$ cho kết quả giảm chấn tốt. Bảng 2.3 cho ta giá trị bình phương trung bình của lực điều khiển

Bảng 2.3. Bình phương trung bình của lực điều khiển và của lực kích động nền

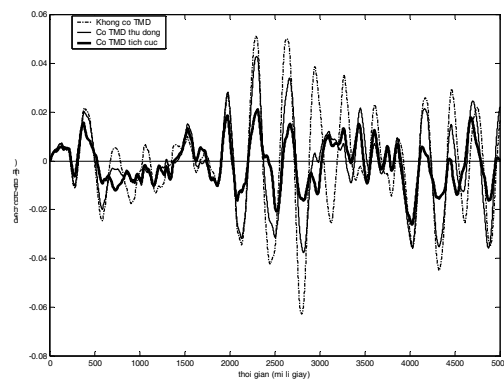
Bình phương trung bình	
$\langle u^2 \rangle$	31427 (N^2)
$\langle m_1 \ddot{x}_1^2 + m_2 \ddot{x}_2^2 \rangle$	∞ (N^2)



Hình 2.24. Dịch chuyển của TMD (m)



Hình 2.25. Dịch chuyển của khối lượng m_1



Hình 2.26. Dịch chuyển của khối lượng m_2

Đồ thị mô phỏng dao động của khối lượng m_1 , m_2 với các thông số tính được của bộ TMD thụ động và tích cực được mô tả trong Hình 2.24, Hình 2.25 và Hình 2.26.

c. Phân tích kỹ thuật điều khiển hỗn hợp

Về cơ bản chúng ta có thể coi các kích động tác động vào cơ hệ như là sự truyền một năng lượng vào cơ hệ, sự điều tiết năng lượng từ hệ chính tới hệ phụ được gắn vào cơ

hệ được coi như sự hấp thụ hoặc tiêu tán năng lượng. Về cơ bản phương pháp giảm dao động bằng hấp thụ và tiêu tán năng lượng có thể phân ra ba dạng chính: dạng thứ nhất là cách ly nguồn gây ra dao động như dùng đệm nhựa đàn hồi, đệm cao su; dạng thứ hai là phân tán dao động bao gồm giảm chấn kim loại, giảm chấn ma sát, giảm chấn chất dẻo, giảm chấn khối lượng và giảm chấn cản nhớt; Dạng thứ ba là điều khiển dao động dạng tích cực và bán tích cực bao gồm giảm chấn khối lượng, giảm chấn bằng cách thay đổi thông số của cơ hệ hay dùng vật liệu thông minh.

Phương pháp cách ly nguồn gây dao động được dùng rộng rãi khắp nơi trên thế giới. Hệ thống cách ly thường được đặt tại móng của hệ, dựa vào tính mềm dẻo cũng như khả năng hấp thụ dao động, năng lượng do kích động từ bên ngoài một phần bị phản hồi, một phần bị hấp thụ trước khi truyền được tới hệ. Trong trường hợp của hệ điều khiển tích cực, bán tích cực, chuyển động của hệ chính được điều khiển bởi nguồn năng lượng đưa vào từ bên ngoài. Tuy nhiên, phương pháp điều khiển bán tích cực chỉ đòi hỏi một lực điều khiển nhất định tác động vào vật hấp thụ dao động để thay đổi cơ tính của hệ, khác với điều khiển tích cực là đưa lực điều khiển trực tiếp vào cơ hệ. Phương pháp điều khiển tích cực và bán tích cực phát triển rất mạnh trong những năm gần đây và đã được áp dụng vào trong thực tế các công trình cũng như hệ máy.

Các nghiên cứu về hệ hấp thụ và phân tán dao động phát triển tương đối mạnh trong vài chục năm gần đây, gần giống với nguyên lý của phương pháp cách ly dao động, chức năng của bộ hấp thụ dao động là hấp thụ năng lượng của hệ nó được gắn vào, tuy nhiên khác với bộ cách ly dao động, bộ hấp thụ dao động làm việc rất hiệu quả ngay cả khi nguồn gây dao động được sinh ra trong bản thân cơ hệ.

Thiết bị giảm chấn bán tích cực

Không giống như thiết bị tích cực, một thiết bị giảm chấn bán tích cực ví như thiết bị cản nhớt có lẽ thay đổi được, thiết bị cản dùng lực ma sát hay thiết bị cản có thể điều khiển được nhờ chất lỏng (Spencer and Spain 1997; Fujino et al. 1996; Housner et al. 1997), một cách lý tưởng, có thể chỉ cung cấp lực hao tán. Tại đây, một mô hình thiết bị giảm chấn cùng chủng loại trên được giả thiết là chỉ làm tiêu tán dao động. Giả thiết này dẫn đến đòi hỏi lực và vận tốc của thiết bị giảm chấn phải có dấu ngược chiều nhau. (Trong nhiều thiết bị giảm chấn bán tích cực vật lý, tồn tại những giá trị cực trị của lực, ở đây bỏ qua giới hạn này). Thế loại mô hình thiết bị giảm chấn này cho chúng ta xấp xỉ đầu tiên của khả năng một loại giảm chấn thông minh.

Trong những nghiên cứu trước đây về thiết bị giảm chấn bán tích cực (Dyke et al. 1996a,b; Johnson et al. 1999a,b), chiến lược tối ưu nhanh, sử dụng hai giai đoạn thiết kế điều khiển đã có tác dụng tốt. Điều khiển đại số được đề cập đến ở đây cũng chính là loại thiết bị này. Bộ điều khiển chính là một dạng như LQR hay LQG điều khiển thiết kế cho giảm chấn tích cực. Bộ điều khiển phụ tính toán cho sự phi tuyến tự nhiên của thiết bị giảm chấn bán tích cực. Điều cốt yếu là bộ điều khiển phụ này đảm bảo rằng hệ thống điều khiển không vượt quá lực giảm dao động cho phép. Tất nhiên,

trong một thiết bị vật lý (khác với mô phỏng), điều hạn chế này bị bắt buộc do bản chất của thiết bị có kích thước giới hạn. (Tuy nhiên, người ta vẫn có thể cần một bộ điều khiển phụ cho các thiết bị vật lý như trong phần lớn thiết bị bán tích cực phi tuyến trong mối quan hệ giữa thông tin đầu vào và lực tác động).

Các kết quả của phương pháp giảm chấn tích cực hay thụ động được tính toán một cách chính xác (trị riêng giải tích với các thông số và nghiệm Lyapunov cho đáp ứng tại các điểm cố định). Việc tính toán đáp ứng của hệ bán tích cực đòi hỏi phải mô phỏng do bản chất phi tuyến của thiết bị giảm chấn bán tích cực. Các đáp ứng của thiết bị giảm chấn bán tích cực được xác định từ các biểu đồ mô phỏng theo thời gian (thường dùng Simulink) với khoảng thời gian 1600 đến 4000 chu kỳ dao động đơn cơ bản (hệ thống có độ cản thấp thì đòi hỏi thời gian dài hơn để đảm bảo tính chính xác của tính toán). Các vectơ ồn nhảy được lấy là nghiệm của vectơ ồn trắng Gaussian cùng với ma trận đường chéo mật độ phổ độ lớn. Các giá trị độ lớn được chọn như dải tần số giới hạn (mẫu không thứ nguyên của thời gian là 0.01) trong việc mô phỏng (đối với độ nhảy ồn và kích động) cho một mức chắc chắn sai số trong hai tính hiệu đo. Hai mức ồn khác nhau được nghiên cứu ở đây: 1% nhảy ồn, thường gặp trong thực tế, và 10% nhảy ồn, bao gồm cả độ nhảy của giảm chấn bán tích cực đến độ nhảy của ồn.

Tỉ số giảm chấn trong chiến lược điều khiển

Tỉ số giảm chấn trong những dạng dao động đầu tiên được tính toán trong chiến lược điều khiển, ví như cản nhót và giảm chấn tích cực với bốn trạng thái qui luật điều khiển. Người ta thay đổi hệ số cản trong thiết kế cản thụ động và lực điều khiển R trong trường hợp thiết kế giảm chấn tích cực, chúng nằm trong 5 kiểu (1 thụ động, 4 tích cực) của hệ kết hợp giảm chấn.

Hiệu ứng của tỉ số giảm chấn trong dạng đầu tiên rất lý thú nhất là khi so sánh nó với những kết quả trước sử dụng cản nhót tuyến tính. Giá trị cực đại của tỉ số giảm chấn sử dụng thiết bị cản nhót là khoảng 1%, trong khi đó thiết bị điều khiển tích cực có thể đạt đến 35% hoặc cao hơn nữa. Gia tốc lực điều khiển thiết kế thể hiện một sự tăng đáng kể trong tần số dao động có cản đầu tiên so với 1 dây dao động tự do. Không có gì đáng ngạc nhiên khi giả thiết rằng thiết bị giảm chấn tích cực này có thể đóng góp giá trị độ cứng âm. Điều này không thể có được nếu chỉ thiết bị hao tán bán tích cực hoặc thụ động. Xa hơn nữa, giá trị độ cứng âm có thể gây nên xu hướng tăng chuyển vị. Kết quả là, như sẽ trình bày ở phần sau, giá trị gia tốc lực điều khiển thiết kế có tác dụng nhỏ trong những mô phỏng của hệ bán tích cực.

Bộ tiêu tán năng lượng bán tích cực (TTNLBTC)

Trong phần này trình bày hai loại bộ cản được đưa ra dùng cho việc tiêu tán năng lượng và có hiệu quả cao trong giảm dao động. Loại đầu tiên là những bộ TTNL thụ

động (TTNLTD) với các bộ phận chính của nó là xylanh thủy lực và các van kiểm tra, van xả.

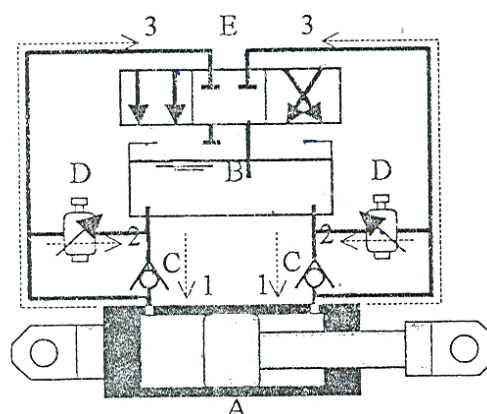
Loại thứ hai là bộ *TTNLBTC*, nó bao gồm tất cả các thiết bị của loại thụ động và còn có thêm 1 van điều khiển được hướng dòng chảy. Bộ TTNL đầu tiên với tải trọng 250 KN đã được thiết kế và việc kiểm tra cũng được tiến hành để xác định hiệu suất tiêu tán năng lượng của chúng. Những kết quả thực nghiệm đã khẳng định một điều rằng tỷ lệ tiêu tán năng lượng của bộ TTNLTD đạt 71.7% trong khi đó thì *TTNLBTC* là 100%. Bộ cản thụ động tránh được những nhược điểm chính của các bộ cản phụ thuộc dịch chuyển như giảm sức chịu đựng của kim loại có chu kỳ dao động thấp, biến dạng dư và lắp ráp không dễ dàng. Bộ cản gần như hoàn thiện về hiệu quả tiêu tán năng lượng đã được xác định là bộ cản bán tích cực. Những bộ cản được đưa ra có thể thực sự giảm được các dao động. Bộ cản bán tích cực ngoài ra còn giảm được các đáp ứng gia tốc.

Kỹ thuật điều khiển ngày càng phát triển để giảm đi các đáp ứng của các hệ khi có động đất hay gió. Kỹ thuật điều khiển được chia làm 3 phần. Đó là: điều khiển tích cực, điều khiển thụ động, điều khiển bán tích cực. Kỹ thuật điều khiển bán tích cực bao gồm những phần tử thụ động được gắn vào hệ cơ học. Phần tử điều khiển thụ động có phần điều chỉnh được khi nó được bớt đi hoặc thêm các phần điều khiển khác. Bộ cản thủy lực bán tích cực, (Symans&Constantinou, (1997), Kurata et. al., (1999, 2000)), bộ cản thụ động, Taylor Devic (Taylor, (1992)) đã được phổ biến rộng rãi và sử dụng rất nhiều ngày nay. Chúng làm tiêu tán năng lượng bằng cách nâng cao hệ số cản để nhằm tạo ra lực cản nhớt. Tuy nhiên, chúng lại gặp phải những vấn đề sau: đòi hỏi sự điều khiển chính xác và đầy đủ làm tăng chi phí và giảm độ tin cậy; phụ thuộc vào tính chất cơ học của chất cản nhớt có thể gây ra mất ổn định. Những vùng tiêu tán năng lượng quá nhỏ không thể áp dụng vào thực tế. Bộ TTNLTD làm việc như một bộ tiêu tán năng lượng kim loại, ví dụ bộ cản ma sát thụ động, có lợi trong việc làm giảm dịch chuyển. Chất lượng của bộ *TTNLBTC* giống như bộ bán tích cực (Symans & Constantinou, (1997), Kurata et al, (1999), (2000)) khi nó được đặt vào kết cấu cùng với thanh đàn hồi; do đó sự dịch chuyển của kết cấu tạo ra sự biến dạng của thanh đàn hồi. *TTNLBTC* có hiệu quả trong việc thay đổi chiều của tác động của thanh đàn hồi mà có thể tạo ra lực âm cho kết cấu. Do vậy, thiết bị này có những thuận lợi sau: tránh được thời gian trễ, năng lượng điều khiển yêu cầu vừa phải. Ta sẽ kiểm tra sự chính xác xuất phát từ công thức giải tích của bộ *TTNLBTC* và hiệu quả tiêu tán thực tế được chứng minh từ thực nghiệm.

Thiết kế bộ cản

Sơ đồ của bộ *TTNLBTC* được thể hiện như hình vẽ 2.27. Bộ *TTNLBTC* bao gồm các phần chính là xylanh thủy lực A, thùng dầu B, van xả D, van một chiều C và cơ cấu điều khiển chiều dòng chảy E. Trước khi giải thích về nguyên lý hoạt động của bộ *TTNLBTC*, sẽ rất là cần thiết để nói qua về cách hoạt động của một TTNLTD, nó bao gồm tất cả các thiết bị của *TTNLBTC* nhưng không có van điều khiển chiều dòng

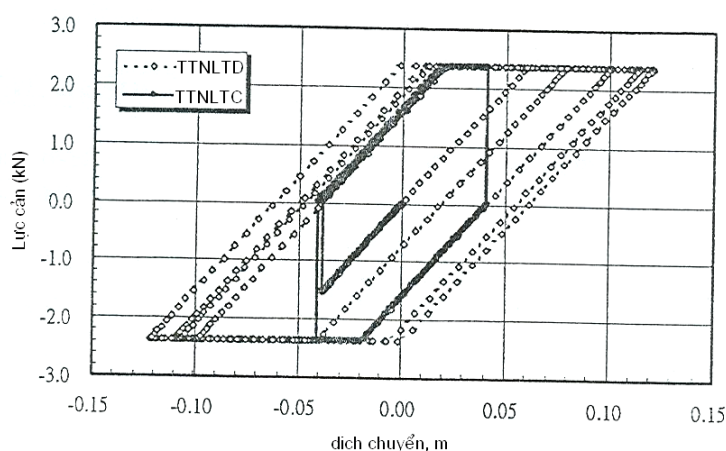
chảy E và các đường ống số 3. Piston sẽ không thể được kéo ra hay đẩy trở lại nếu như áp suất của cả hai đường dầu nhỏ hơn giá trị áp suất ở van xả D quy định.



Hình 2.27: Tổ chức của bộ *TTNLBTC*

Bằng việc điều khiển hướng dòng chảy bằng một van điều khiển chiều dòng chảy E, (4 cửa, 3 vị trí). Như trạng thái vị trí của van điều hướng được thể hiện như ở hình vẽ 35, piston bị tắc không giãn ra hay co vào được. Piston chỉ được tự do giãn ra hay co vào nếu van xả D bên trái hay phải mở. Trạng thái của vị trí van E có thể điều khiển bằng dòng điện tín hiệu 24 V và bằng máy tính số. Cho rằng bộ *TTNLBTC* và thanh tăng cứng được liên kết lại với nhau được gọi là *TTNLBTC* và thanh tăng cứng chỉ biến dạng trong miền đàn hồi. Khả năng kéo hay nén của toàn bộ kết cấu sẽ tăng cho đến khi áp suất dầu bằng áp suất quy định. Khi áp suất trong khoang dầu vượt quá áp suất của quy định thì khả năng kéo hay nén sẽ được duy trì không đổi cho đến khi lực thay đổi chiều.

Hình 2.28 cho thấy lực cản của bộ *TTNLBTC* và *TTNLTD* phụ thuộc vào dịch chuyển được lắp vào hệ chịu kích động điều hòa và lực xả bằng 7.9 KN.



Hình 2.28: Lực cản của bộ cản thụ động và bán tích cực phụ thuộc vị trí

Đồ thị liên hệ lực cản-dịch chuyển được mô phỏng cho *TTNLBTC* được lắp đặt cho một hệ 1 bậc tự do, dưới điều kiện kích động, độ cứng của thanh và lực giảm chấn của bộ cản giống với điều kiện lực kích động của hệ có *TTNLTD*. Kết quả mô phỏng được chỉ ra trên hình 2.28. Rõ ràng bộ *TTNLBTC* tăng hiệu suất tiêu tán năng lượng trong thời gian ngắn. Đáp ứng dịch chuyển giảm hẳn so với *TTNLTD*. Do đó có thể mong đợi rằng đáp ứng gia tốc cũng có thể được điều khiển bởi bộ *TTNLBTC*. Đáp ứng của bộ *TTNLBTC* có thể được mô phỏng bởi phương trình dưới đây:

$$F_B = K_A (X_A - X_{Bal}) \quad (2.124)$$

trong đó F_B , K_A , X_A và X_{Bal} theo thứ tự là lực, độ cứng, độ biến dạng của *TTNLBTC* và độ biến dạng ở trạng thái cân bằng. Lực tác động phải được thỏa mãn giới hạn dựa theo van xả D, và điều kiện sau:

$$-F_{max} \leq F_B \leq F_{max} \quad (2.125)$$

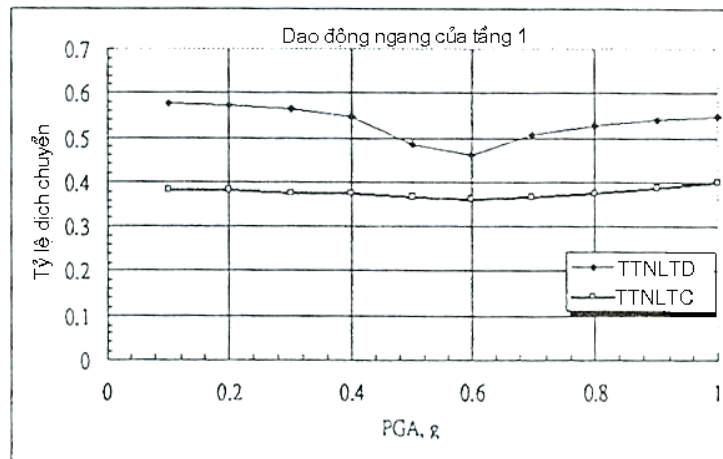
Độ biến dạng có thể được trình bày bởi phương trình sau:

$$X_{Bal} = \begin{cases} X_{max} - \frac{F_{max}}{K_A} & \text{khi kéo} \\ X_{min} + \frac{F_{max}}{K_A} & \text{khi nén} \end{cases} \quad (2.126)$$

Trong đó X_{max} và X_{min} là dịch chuyển đo được tính tại khi đảo chiều chuyển động.

Hiệu quả điều khiển cho kết cấu

Một kết cấu tòa nhà 3 tầng 2 chiều được đưa ra thí nghiệm và nghiên cứu số. Ma trận độ cứng, độ cản, khối lượng cho tính toán số được chỉ ra ở phụ lục. Ba tần số riêng của kết cấu, nặng 30 tấn, là 1.002, 2.807, 4.056 Hz, theo thứ tự. Trong phần mô phỏng, một bộ *TTNLTD* hoặc *TTNLBTC* được đưa vào tầng 1 của kết cấu. Kết cấu bị kích động bởi những mức độ động đất khác nhau mô phỏng bởi máy. Trong tất cả các trường hợp, lực của van xả của bộ cản bằng 20% của trọng lượng kết cấu và độ cứng của thanh giảm bằng 2 lần độ cứng của dầm biên của kết cấu. Hình 2.29 chỉ ra rằng dịch chuyển kéo theo của tầng 2 có thể giảm xuống với mọi mức độ động đất khác nhau. Bộ cản bán tích cực làm giảm đáp ứng hiệu quả hơn so với bộ thụ động.



Hình 2.29. Tỷ lệ dịch chuyển kéo theo của tầng 2

Từ nghiên cứu này, TTNLTD và *TTNLBTC* có thuận lợi trong việc tiêu tán năng lượng, đạt tỷ lệ năng lượng tiêu tán cao. Nó có hiệu quả tốt để loại bỏ sự phản ứng lại của dịch chuyển của kết cấu. Thực tế, TTNLTD và *TTNLBTC* là các bộ hấp thụ năng lượng dao động của kết cấu và chuyển nó thành lực kháng cự lại dịch chuyển của kết cấu. Hai ưu điểm của bộ cản trên là:

Luật điều khiển đơn giản: Kiểu điều khiển đóng ngắt cho bộ *TTNLBTC* thật sự đơn giản mà không cần đến các bộ điều khiển chính xác và số lượng lớn các sensor đây là một trong những ưu điểm của bộ TTNL dạng bán tích cực. Điều này dẫn đến điều khiển đóng đầu ra trực tiếp. T

Thời gian sử dụng lâu dài: Không có sự làm giảm sức chịu đựng của kim loại và môi. Việc bảo trì và điều chỉnh bộ cản đơn giản. *TTNLBTC* và TTNLTD mang lại khả năng tiêu tán năng lượng áp dụng cho thực tế. Chúng là những thiết bị TTNL bán tích cực và thụ động rất tốt.

KẾT LUẬN CHUNG

Công nghệ chống dao động có hại dựa trên việc điều khiển đáp ứng động (dao động theo thời gian) của công trình kỹ thuật. Trên đây đã trình bày cơ sở của ba phương pháp điều khiển dao động:

- Phương pháp sử dụng các hệ cách ly.
- Phương pháp sử dụng các hệ tiêu tán năng lượng (điều khiển thụ động (ĐKTĐ)).
- Phương pháp điều khiển tích cực (ĐKTC).

Trong thực tế, còn có thể điều khiển dao động bằng cách kết hợp các phương pháp trên nhằm đạt hiệu quả giảm dao động tốt hơn. Chẳng hạn, phương pháp kết hợp giữa hai phương pháp ĐKTĐ và phương pháp ĐKTC được gọi là phương pháp bán tích cực (semi-active).

3. Đánh giá phân tích các ứng dụng của thiết bị TTNL trên thế giới và Việt Nam

a. Phân tích các ưu điểm kỹ thuật và hiệu quả kinh tế của thiết bị TTNL

Các lĩnh vực có nhu cầu giảm dao động

Nhu cầu giảm dao động có hại trong các hệ kỹ thuật là một nhu cầu lớn trong tương lai. Dao động có hại xuất hiện trong một số lĩnh vực điển hình như giao thông, vận tải, công nghiệp, quân sự, hàng không và xây dựng...

Giao thông vận tải

Trong giao thông, việc giảm dao động có hại cho tàu hoả, ô tô, tàu thuỷ đóng một vai trò then chốt trong việc nâng cao tuổi thọ phương tiện và giảm bớt sự khó chịu cho người sử dụng. Dao động của các phương tiện giao thông bị gây ra bởi tác động thay đổi trên miền tần số rộng của kích động mặt đường, của sóng gió. Hiện nay, với tốc độ ngày càng cao, kích cỡ ngày càng lớn và hoạt động trong môi trường phức tạp, vấn đề giảm dao động có hại cho các phương tiện giao thông là một mối quan tâm hàng đầu cho các nhà chế tạo. Bên cạnh đó, việc chống va chạm cho các phương tiện khi xảy ra tai nạn cũng là một vấn đề cấp thiết. Nhiều phương tiện giao thông đã được trang bị đệm khí để giảm bớt các va chạm và dao động khi cần thiết. Trong lĩnh vực vận tải, tại các bến cảng, việc vận chuyển bằng cần cẩu và các kết cấu treo được dùng phổ biến. Với khối lượng hàng hoá ngày càng lớn, việc vận chuyển chính xác và an toàn đòi hỏi phải giảm thiểu những dao động lắc lư và những va chạm khi vận chuyển. Nhiều cần cẩu được đặt trên tàu biển cũng cần được cách ly tốt với nền tàu để không bị tròng trành trong quá trình vận hành. Hiện nay, việc vận chuyển bằng tàu cáp treo tại các khu du lịch được phát triển rất nhiều cũng làm nảy sinh nhu cầu giảm những dao động có hại do gió gây ra.

Công nghiệp, quốc phòng, hàng không

Trong lĩnh vực công nghiệp, nhiều lĩnh vực cần được giảm dao động như chống rung cho các máy móc tốc độ cao, chống va chạm cho các thiết bị dừng... Chẳng hạn, các máy xay, nghiền hoạt động với tốc độ cao nếu không chống rung cẩn thận sẽ gây vỡ. Các thiết bị chặn trong các nhà máy sản xuất giấy, các nhà máy luyện kim, nếu không có biện pháp bảo vệ chống va chạm sẽ dễ dàng bị phá huỷ. Các máy cán thép cũng có nhu cầu giảm rung khi cán các tấm thép có độ dày khác nhau.

Trong lĩnh vực quân sự, các thiết bị quân sự cần được giảm va chạm và dao động có hại để tăng hiệu quả. Các loại súng và pháo đều cần chống giật khi vận hành, vừa đảm bảo an toàn cho người sử dụng, vừa tăng tốc độ chiến đấu. Các xe tải lắp các pháo lớn cần được lắp các bộ giảm chấn thích hợp đảm bảo an toàn khi vận chuyển và khi bắn. Đặc biệt, các tàu chiến cần có hệ thống cân bằng và ổn định tự động vì các loại tàu này có sự thay đổi vận tốc và quỹ đạo rất lớn. Các hệ thống cân bằng và ổn

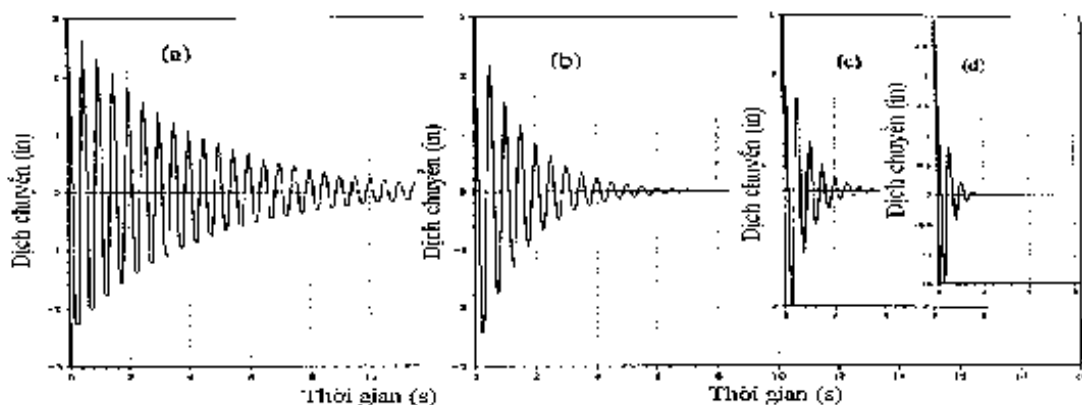
định đều dựa trên các kỹ thuật hiện đại về việc chống các dao động có hại. Các tên lửa hiện đại cần có hệ thống chống va chạm và ổn định cho hệ thống phóng và dẫn đường. Trong lĩnh vực hàng không vũ trụ, các máy bay cần được chống rung, các hệ thống phóng tàu vũ trụ cần được chống va chạm. Trong công nghệ vũ trụ, các thiết bị chính xác của vệ tinh cần được chống dao động một cách thích hợp để đảm bảo độ chính xác khi vận hành.

Xây dựng

Những lĩnh vực được đề cập ở trên là những lĩnh vực truyền thống và hết sức điển hình cho nhu cầu giảm dao động. Trong khi đó, lĩnh vực xây dựng lại là lĩnh vực vẫn còn là mới. Sở dĩ như vậy là vì trong xây dựng, những tính toán cổ điển thường coi công trình xây dựng là những kết cấu tĩnh và những yếu tố động đều được đưa về các yếu tố tĩnh tương đương. Do đó, những phương pháp giảm dao động cũng mang tính "tĩnh": tăng cường, gia cố độ cứng của kết cấu. Xu hướng này nay đã thay đổi và phát triển theo hướng tăng hiệu quả kinh tế và khả năng xây dựng ở các vùng địa hình phức tạp. Vì thế, hiện nay, những công nghệ giảm dao động trong các lĩnh vực truyền thống một lần nữa lại được áp dụng vào lĩnh vực xây dựng. Tuy nhiên, quy mô của những áp dụng này lớn hơn nhiều, phong phú hơn nhiều và kết cấu giảm dao động cũng phức tạp hơn nhiều.

Mục đích của việc sử dụng các thiết bị tiêu tán năng lượng trong một kết cấu là để làm giảm nhỏ nhất năng lượng dao động (hoặc để triệt tiêu hoàn toàn năng lượng trong trường hợp lý tưởng) trong các thành phần của kết cấu như dầm, cột, tường. Bằng cách điều khiển theo cách này ta có thể làm giảm nguy hiểm cho kết cấu. Làm cho hệ chính có gia tốc thấp hơn và do đó các lực cắt xuất hiện bên trong nhỏ hơn. Một vài hệ chính còn có thể đạt được sự giảm đáp ứng một cách đáng kể khi sử dụng các bộ tiêu tán năng lượng. Một số là các bộ giảm xóc cho các phương tiện giao thông, các bộ giảm dao động do gió cho các công trình như bộ hấp thụ dao động dạng cản nhớt gắn với khối lượng. Thêm vào đó là những bộ tiêu tán năng lượng để làm giảm các ảnh hưởng gây ra bởi động đất. Rất nhiều bộ tiêu tán năng lượng được dùng để điều khiển thụ động chống động đất được dùng trong hệ thống cách li động đất. Nhiều thiết bị tiêu tán năng lượng được phát triển tại Ý, Nhật, Mỹ,... trong thập niên gần đây là các bộ cản nhớt trong các cầu nhịp lớn.

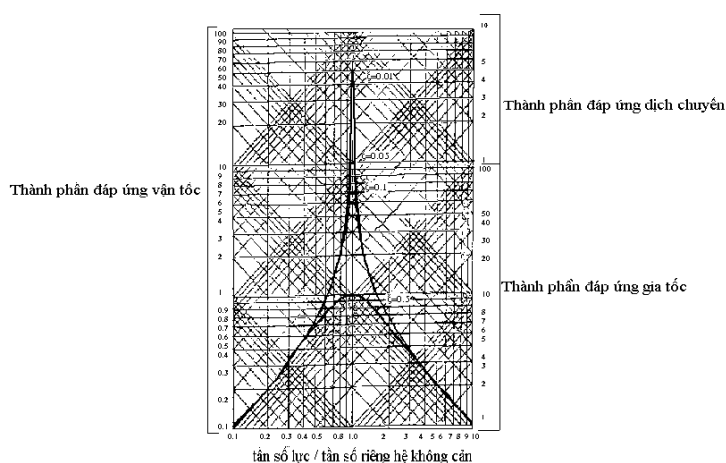
Sự xuất hiện của những thiết bị cản nhớt (tiêu tán năng lượng) trong các toà nhà đã được các kỹ sư xây dựng chấp nhận. Thông thường độ cản tương đương của các toà nhà vào khoảng từ 2% đến 5% khi phân tích đáp ứng tuyến tính của các toà nhà. Trên thực tế các kỹ sư thường chọn là 5%. Khi hệ một bậc tự do với độ cản nhỏ và bị đẩy ra khỏi vị trí cân bằng, nó sẽ dao động với biên độ giảm dần như trên hình 3.1.



Hình 3.1. Dao động tự do với các tỷ số cản khác nhau của hệ chính

a- 0.02; b-0.05; c-0.10; d-0.20

Đáp ứng của hệ chịu lực kích động điều hoà được chỉ ra trên hình 3.2. Thành phần khuếch đại động lực của nhiều tần số khác nhau so với tần số riêng và độ cản nhớt khác nhau so với độ cản nhớt của hệ. Người ta thấy rằng, khi tăng độ cản, hiệu quả đặc biệt làm giảm đáp ứng thu được khi mà tần số kích động gần với tần số riêng của hệ (trong vòng cộng hay trừ 20%).



Hình 3.2. Các thành phần khuếch đại động lực với các hệ số cản khác nhau của kết cấu

Bộ cản nhớt chất lỏng, đã được sử dụng nhiều năm trong quân sự, hàng không, nay đang bắt đầu tham dự vào lĩnh vực xây dựng. Các bộ cản nhớt biểu lộ tính chất cản tuyến tính, ảnh hưởng của sự thay đổi của nhiệt độ ở mức độ không đáng kể, chúng thường nhỏ gọn về kích thước.

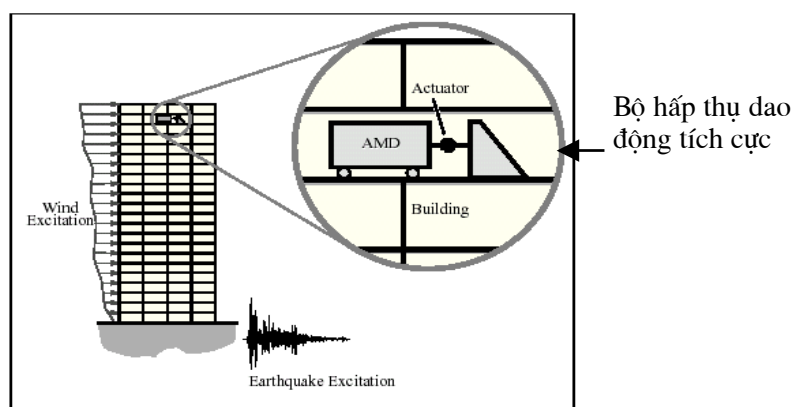
Các nghiên cứu phân tích và thử nghiệm của các kết cấu, cầu phà và nhà công trình có gắn các bộ cản nhớt chất lỏng đã được thực hiện bởi nhiều tác giả [Constantinou et al, 1993]. Kết quả của việc nghiên cứu cho ra sự giảm đáng kể của các đáp ứng khi sử dụng các thiết bị cản nhớt. Đặc điểm của bộ cản nhớt là lực cản nhớt phụ thuộc vào

vận tốc dao động. Đó là một tính chất mong muốn khi ứng dụng các bộ cản nhớt vào kết cấu. Chẳng hạn với dầm, khi lắp bộ cản nhớt, sẽ xuất hiện thêm lực cản nhớt. Ngoài ra, mômen lớn nhất phải chịu khi dầm bị võng lớn nhất (tương ứng với vận tốc bằng không) sẽ không tăng do thành phần phụ là lực cản nhớt lúc này bằng không.

Phương pháp sử dụng các thiết bị tiêu tán năng lượng là phương pháp được áp dụng hiệu quả cho nhiều loại kết cấu, nhiều loại kích động và hiện tại là phương pháp phổ biến nhất. Nguyên tắc của phương pháp là dùng các cơ cấu để truyền tải năng lượng do dao động có hại của kết cấu thành nhiệt hoặc dạng năng lượng khác. Hàng trăm công trình trên thế giới, trong đó có những công trình nổi tiếng đã áp dụng công nghệ này. Các ưu điểm của thiết bị tiêu tán năng lượng gồm:

- Hiệu quả về kỹ thuật

Các thiết bị tiêu tán năng lượng rất có hiệu quả giảm dao động vì nó được thiết kế tối ưu dựa trên đáp ứng động mà không phải là mô hình tĩnh tương đương. Các thiết bị tiêu tán dạng chất lỏng, ngoài việc giảm dao động còn không làm tăng nhiều ứng suất trong kết cấu (điều này không thể thực hiện với biện pháp gia cố thông thường). Vì vậy, hiệu quả về kỹ thuật của các thiết bị tiêu tán năng lượng là rất tốt.



Hình 3.3. Một biện pháp lắp đặt bộ hấp thụ dao động tích cực vào kết cấu



Hình 3.4. Các thiết bị TTNL lắp đặt trên cầu dây văng

- Hiệu quả về kinh tế

Do không tăng nhiều ứng suất vào kết cấu và khối lượng không quá lớn, việc bổ sung các thiết bị TTNL không làm thay đổi nhiều đến kết cấu. Trong khi đó, bằng biện pháp gia cố, khối lượng kết cấu thường tăng lên nhiều gây tốn kém. Vì thế, sử dụng các thiết bị TTNL có hiệu quả về kinh tế.

- Dễ dàng lắp đặt và bảo dưỡng

Việc lắp đặt và tháo dỡ các thiết bị TTNL thường không đòi hỏi quá trình thi công quá phức tạp và tốn kém. Quá trình có thể thực hiện ngay khi kết cấu đang vận hành (chẳng hạn cầu vẫn đang có phương tiện qua lại...)

- Đạt yêu cầu về thẩm mỹ do có kích thước nhỏ

Quá trình tiêu tán năng lượng thường được thực hiện thông qua các thiết bị tiêu tán năng lượng dạng ma sát, dạng kim loại, dạng chất lỏng, các hệ thống hấp thụ dao động dạng khối lượng, TMD, TLD (Tuned Liquid Damper)... Nguyên tắc thiết kế nói chung dựa trên năng lượng tiêu tán (yêu cầu năng lượng tiêu tán phải cao nhất).

b. Phân tích kỹ thuật một số công trình thực tế điển hình có sử dụng các thiết bị TTNL.

Một số ứng dụng thực tế

- Thiết bị TMD trong cao ốc

Thiết bị tiêu tán năng lượng TMD là thiết bị được sử dụng rất phổ biến để giảm dao động do gió, đặc biệt là trong các cao ốc. Một trong những áp dụng tiêu biểu gần đây nhất là thiết bị TMD trong toà nhà trung tâm thương mại Đài Bắc, Đài Loan có 101 tầng, cao 508m, cao nhất thế giới và được xây trên vùng động đất. Các kỹ sư thấy rằng gia tốc của tầng cao nhất có thể vượt 30%-40% so với gia tốc mong muốn. Giải pháp lắp đặt thiết bị TMD là một giải pháp hiệu quả đối phó với trường hợp gia tốc rất cao này. Các kỹ sư đã chọn TMD là một hình cầu nặng 730 tấn có chạm trở điều khác đặt tại tầng 88. Quả cầu được treo bởi hệ thống cáp thép, xung quanh là các nhà hàng ăn, quán bar vừa rất hiệu quả trong giảm gia tốc, vừa thu hút khách du lịch.



Hình 3.5. Thiết bị TMD trong nhà cao nhất thế giới

- Gia cố cầu thiên niên kỷ:

Cầu thiên niên kỷ là cầu có lịch sử 100 năm của nước Anh, dành cho người đi bộ. Cầu có hình dáng kiến trúc độc đáo, được treo bằng cáp ngang. Do quá mảnh nên cầu bị dao động mạnh.

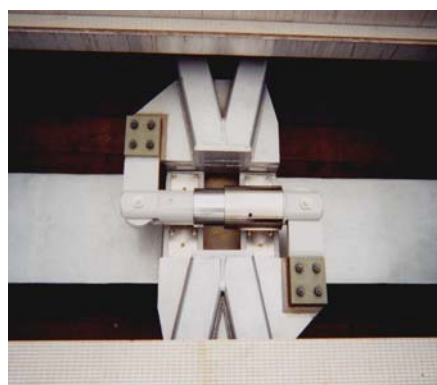


Hình 3.6. Cầu thiên niên kỷ ở Anh

Một số giải pháp khắc phục đã được đưa ra và giải pháp lắp đặt các thiết bị tiêu tán năng lượng đã được chọn vì:

- Đảm bảo yêu cầu thẩm mỹ vì các thiết bị tiêu tán năng lượng rất gọn. Đây là ưu điểm được quan tâm vì hình dáng kiến trúc độc nhất của cầu không thể bị phá hủy.
- Các thiết bị tiêu tán năng lượng tuy đắt hơn các thanh giằng để gia cố cầu nhưng khá nhẹ và không tăng nhiều ứng suất của cầu. Vì thế, với giải pháp này, không cần phải tăng sức chịu lực của cầu và chi phí tổng thể rẻ hơn.
- Giải pháp này có hiệu quả trong việc giảm cả dao động và ứng suất trong kết cấu (điều này không thực hiện được với giải pháp gia cố bằng các thanh giằng).
- Không gây ảnh hưởng giao thông đường thủy như giải pháp bổ sung cột trụ.
- Dễ dàng lắp đặt và thay thế.

Vị trí lắp đặt và quá trình lắp đặt có thể thấy trên hình 3.7.



Hình 3.7. Vị trí lắp đặt các thiết bị TTNL

- Áp dụng công nghệ TTNL, cầu dây văng DongTing (Trung Quốc)

- Dự án giảm dao động dây cáp của cầu Dongting (Trung Quốc) được thực hiện bởi sự phối hợp giữa Đại học Bách Khoa Hồng Kông và Cty LORD (Hoa Kỳ). Sau những thử nghiệm thành công, tổng số 312 thiết bị TTNL được lắp đặt trên cầu và đã khử hoàn toàn dao động do gió của dây cáp trên cầu.

- Khó khăn khi giảm dao động cho dây cáp ở chỗ, muốn giảm dao động hiệu quả thì các thiết bị không được lắp quá gần đầu dây. Như thế hiệu quả thẩm mỹ sẽ kém đi. Công nghệ được sử dụng ở đây là các thiết bị TTNL bằng chất lỏng từ biến, có thể thay đổi đặc tính nhờ từ trường. Nhờ đặc tính này mà hệ thống TTNL có kích cỡ tương đối nhỏ và không cần lắp đặt quá xa đầu dây văng. Đây là một giải pháp hiệu quả, ít tốn kém, giảm yêu cầu bảo dưỡng.



Hình 3.8. Cầu DongTing, Trung Quốc

Đánh giá khả năng ứng dụng của các thiết bị TTNL ở Việt Nam

Như đã thống kê ở Phần I mục 1, Việt Nam là quốc gia nằm trong vùng có gió bão, lũ lụt, động đất, nhiều sông rộng, biển lớn. Nhu cầu phát triển kinh tế-xã hội là rất lớn. Trong lĩnh vực cơ khí, Việt Nam đang phát triển các ngành có nhu cầu lớn như xi măng, điện, sắt thép, ô tô. Chúng ta đã và đang xây dựng nhiều cầu dây văng nhịp lớn, nhiều công trình dầu khí, hệ thống ống dẫn dầu khí dài hơn trăm km từ biển vào đất liền, các công trình DKI bảo vệ chủ quyền của đất nước. Việt Nam cũng đang phát triển chiến lược xây các nhà cao tầng, các đường dây tải điện xuyên quốc gia, các tàu cao tốc, tàu biển xuyên đại dương, các chuyến tàu nhanh Bắc Nam và các tuyến đường sắt trên cao tốc độ đến vài trăm km/giờ. Trong lĩnh vực quốc phòng Việt Nam chủ trương hiện đại hoá khả năng quốc phòng, tự chế tạo các vũ khí quân sự như xe-pháo hạng nặng, tên lửa, vũ khí chống tăng.

Trong tất cả các lĩnh vực nêu trên nhu cầu giảm các dao động có hại để giảm chi phí, tăng chất lượng và tuổi thọ của các công trình, thiết bị kỹ thuật là rất lớn. Công nghệ sản xuất các thiết bị TTNL vẫn đang còn mới nếu Việt Nam tạo điều kiện để phát triển công nghệ giảm các dao động có hại nhất định sẽ đem lại nhiều hiệu quả kinh

tế, hạn chế sự tụt hậu về công nghệ so với các quốc gia tiên tiến khác.

Để kết thúc mục này chúng tôi xin nhắc lại một kết luận về hiệu quả chống dao động mà giới chuyên gia đúc kết được "Nếu biên độ dao động giảm được 15% thì tuổi thọ của công trình tăng được gấp đôi". Chúng ta có thể đồng ý với ý kiến này khi trải qua một ngày đêm trên một phương tiện giao thông chuyển động với bộ giảm xóc kém.

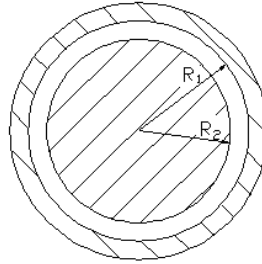
4. Nghiên cứu thiết bị TTNL dùng nguyên lý cản nhớt

a. Nghiên cứu mô hình cơ học của chất lỏng nhớt dùng trong thiết bị TTNL

Dầu Silicon

Dầu Silicon trong thiết bị TTNL cản nhớt là chất không màu và có độ nhớt lớn hơn hàng trăm lần so với dầu nhờn động cơ 30. Dầu Silicon có khả năng TTNL rất tốt vì độ nhớt của nó không bị ảnh hưởng bởi thay sự đổi nhiệt độ, do vậy có thể tạo ra hệ số cản ổn định trong các thời tiết hè, đông. Dầu Silicon cũng không đông cặn hoặc thay đổi độ nhớt nếu thiết bị TTNL không hoạt động trong một thời gian, đáp ứng được những kích động lớn, ví dụ như trong các xe tải 18 bánh đã được trang bị với các bộ TTNL chứa dầu Silicon.

Trong bộ TTNL, giữa xy lanh và đầu piston có khe hẹp độ dày để chất lỏng chảy qua khi có độ chênh áp Dp giữa hai khoang của xy lanh. Sơ đồ của đầu piston và xy lanh được mô tả trên hình 4.1.



Hình 4.1. Sơ đồ đầu piston và xy lanh

Ta gọi u : vận tốc dòng chảy. Xét hệ trục tọa độ Oxy gắn trên piston. Trục x song song với tâm piston. Ta có phương trình Navier-Stokes:

$$\frac{1}{\rho(p,T)} \frac{dp}{dx} - \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{3\rho(p,T)} \frac{\partial \text{div}(u)}{\partial x} + \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + u_r \frac{\partial u}{\partial r} \right] = 0 \quad (4.1)$$

Giải phương trình (4.1) với điều kiện:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{u_r}{r} = 0 \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} r = R_1; u &= 0 \\ r = R_2; u &= 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\text{Phương trình trạng thái: } F(\rho, p, T) = 0 \quad (4.4)$$

Ta tìm được phân bố vận tốc:

$$u = g(l, \Delta p, \nu) \quad (4.5)$$

và lưu lượng:

$$Q_1 = \int_{R_2}^{R_1} 2\pi r u dr \quad (4.6)$$

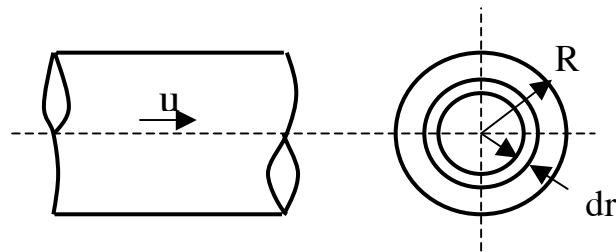
Trong bộ TTNL, đầu piston có những lỗ được khoan để chất lỏng chảy xuyên qua từ khoang phải sang khoang trái. Sơ đồ của dòng chảy qua lỗ trên piston được mô tả trên hình 4.2. Xét hệ trục tọa độ 0xy gắn trên lỗ piston. Trục x song song với tâm lỗ piston. Xuất phát từ phương trình liên tục, phương trình Navier-Stokes với điều kiện:

$$r = 0: u \text{ hữu hạn}, \quad (4.7)$$

$$r = R_0: u=0 \quad (4.8)$$

ta có phân bố vận tốc:

$$u = u(l, \Delta p, \alpha, \nu) \quad (4.9)$$



Hình 4.2. Sơ đồ dòng chảy qua lỗ trên piston

Ta tính được lưu lượng:

$$Q_2 = \int_0^{R_0} 2\pi r u dr \quad (4.10)$$

Các công thức trên làm cơ sở để tính các đặc trưng thủy lực của thiết bị TTNL.

b. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học đến hiệu quả TTNL

Sử dụng (4.6) và (4.10) ta có tổng lưu lượng chảy qua khe hẹp và lỗ đường kính R_0

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4.11)$$

Do lưu lượng chảy qua hệ khe, lỗ tính theo công thức sau:

$$Q = AV \quad (4.12)$$

$$F = A \Delta p \quad (4.13)$$

Sử dụng (4.9), (4.10) ta có:

$$\Delta p = f(Q) \quad (4.14)$$

Thay (4.14) vào (4.13) suy ra:

$$F = A f(Q) \quad (4.15)$$

Thay (4.12) vào (4.15) ta thu được

$$F = A f(AV) \quad (4.16)$$

Trong nhiều trường hợp, qua những tính toán số và thí nghiệm kiểm chứng, người ta thu được

$$F = \Omega N^\theta \quad (4.17)$$

Với θ xấp xỉ bằng 1 thì ta có thể thu được định luật tuyến tính

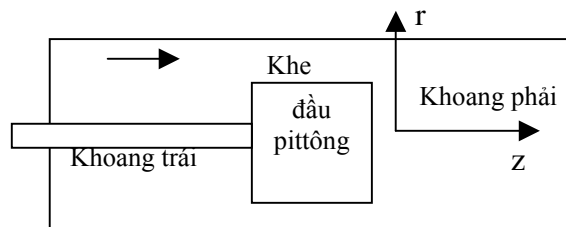
$$F = CV \quad (4.18)$$

Trong đó C là hàm của các thông số của bộ TTNL:

$$C = f(A, \nu, \alpha, R_0, R_1, R_2) \quad (4.19)$$

Công thức (4.18) liên hệ giữa lực tác động lên cán piston và vận tốc của piston. Ta thấy trong trường hợp giả thiết chất lỏng chảy tầng và không nén được thì lực là hàm tuyến tính của vận tốc. Hệ số C cho ta mối liên hệ giữa hệ số cản của bộ TTNL và các thông số hình học của xy lanh, đầu piston như độ rộng của khe hở thoát dầu, đường kính piston, đường kính xy lanh, đường kính lỗ thoát dầu trên đầu piston, góc nghiêng của lỗ thoát dầu trên đầu piston, số lỗ thoát dầu trên đầu piston, diện tích của piston. Hệ số C có thể tính bằng các máy tính số và kiểm nghiệm bằng thí nghiệm.

Dòng chảy của chất lỏng qua đầu piston gây ra tiêu tán năng lượng, tạo ra đặc trưng động lực của thiết bị tiêu tán năng lượng. Vì thế, cần có những tính toán các yếu tố của dòng chảy như vận tốc, áp suất, nhiệt độ ... để xác định được đặc trưng động lực của thiết bị. Phương trình để mô tả dòng chảy là các phương trình đạo hàm riêng phi tuyến rất phức tạp. Hơn thế nữa điều kiện biên của chất lỏng trong trường hợp mặt thoáng cũng phi tuyến. Để giải những bài toán chất lỏng này, người ta thường phải đơn giản hoá cả phương trình và điều kiện biên. Trong trường hợp có lời giải giải tích, cần phải đưa ra khá nhiều giả thiết đơn giản hoá. Nghiệm giải tích rất có ý nghĩa trong quá trình thiết kế sơ bộ. Tuy nhiên, để tính toán chính xác hơn cần dùng các phương pháp số. Tuy nhiên ta chỉ xét trường hợp dòng chảy đối xứng trục. Trường hợp này đúng với dòng chảy qua khe giữa đầu piston và xy lanh như trên hình 4.3.



Hình 4.3. Dòng chảy đối xứng trục qua đầu pittông

Bài toán chỉ phụ thuộc vào hai tọa độ không gian là tọa độ dọc trục z và tọa độ theo hướng bán kính r .

Các phương trình tổng quát mô tả dòng chảy đối xứng trục

Trong mục này ta sẽ xét các phương trình tổng quát để mô tả dòng chảy đối xứng trục. Trong thực tế, vì xy lanh và piston có dạng hình trụ nên các phương trình sẽ được viết trong hệ toạ độ trụ. Ta sẽ trình bày mà không dẫn giải cách thiết lập ra phương trình vì đây là những phương trình kinh điển trong giáo trình cơ học chất lỏng. Các phương trình bao gồm:

+ Hệ phương trình chuyển động Navier - Stokes

$$-\rho(p, T) \left[\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right] + \mu \Delta v_r - \mu \frac{v_r}{r^2} + \frac{\mu}{3} \frac{\partial \text{div}(v)}{\partial r} = \frac{\partial p}{\partial r} \quad (4.20)$$

$$-\rho(p, T) \left[\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right] + \mu \Delta v_z + \frac{1}{3} \frac{\partial \text{div}(v)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.21)$$

Trong đó ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, là hàm của áp suất p và nhiệt độ T , $\mu = \eta g$ là hệ số nhớt động lực của chất lỏng (coi là hằng số). Vận tốc v_z và v_r lần lượt là các vận tốc dọc theo trục và theo bán kính của xy lanh piston. Δ là ký hiệu toán tử Laplace trong hệ toạ độ trụ đối xứng trục:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{\partial}{r \partial r} \quad (4.22)$$

Còn $\text{div}(v)$ là phân kỳ vận tốc:

$$\text{div}(v) = \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} \quad (4.23)$$

Phương trình (4.20) có thành phần gắn với khối lượng riêng gọi là thành phần quán tính, thành phần gắn với hệ số nhớt động lực gọi là thành phần ma sát. Thành phần quán tính là phi tuyến và thường tăng mạnh khi vận tốc tăng. Đối với đặc trưng động lực của thiết bị, cần giảm thiểu thành phần này. Phương trình Navier-Stokes là một trong bảy bài toán lớn nhất hiện nay. Để giải chúng, nói chung cần khá nhiều giả thiết đơn giản hoá.

+ Phương trình liên tục:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{div}(v) = 0 \quad (4.24)$$

+ Phương trình trạng thái:

$$F(\rho, p, T) = 0 \quad (4.25)$$

trong đó F là một hàm mô tả liên hệ giữa các đại lượng ρ , p và T . Trong trường hợp chất lỏng silicone, người ta có thể dùng dạng phương trình trạng thái Claperon của chất khí.

+ Phương trình thu nhiệt với giả thiết truyền nhiệt Fourier:

$$k\Delta T = \rho C_v \frac{dT}{dt} + A p \operatorname{div}(\mathbf{v}) \quad (4.26)$$

trong đó k là hệ số truyền nhiệt (coi là hằng số) theo giả thiết truyền nhiệt Fourier, C_v là nhiệt dung riêng đẳng tích và A là đương lượng nhiệt của công. Các ký hiệu toán tử Laplace Δ và phân kỳ vận tốc $\operatorname{div}(\mathbf{v})$ đã được nói ở trên.

Trường hợp chất lỏng nhẹ.

Trong trường hợp này, ta bỏ qua thành phần quán tính. Hệ 3 phương trình (4.20), (4.21) và (4.23) trở thành:

$$\mu \Delta v_z = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.27)$$

$$\mu \Delta v_r - \mu \frac{v_r}{r^2} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.28)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} = 0 \quad (4.29)$$

Đó là hệ phương trình đạo hàm riêng bậc 2 giải được bằng phương pháp số.

Trường hợp chất lỏng lý tưởng, không nhớt.

Ta có hệ 3 phương trình:

$$-\rho \left[\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.30)$$

$$-\rho \left[\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4.31)$$

$$\operatorname{div}(\mathbf{v}) = \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} = 0 \quad (4.32)$$

Đây là hệ đạo hàm riêng phi tuyến bậc nhất, đưa được về một phương trình đại số phi tuyến và một phương trình đạo hàm riêng tuyến tính bậc hai. Thật vậy, xét hàm thế ϕ . Nghiệm được tìm dưới dạng:

$$v_z = \frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad (4.33)$$

Sau khi tích phân lên ta thu được

$$\Delta \phi = 0 \quad (4.34)$$

$$p = -\rho \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right)^2 + \frac{\partial \phi}{\partial t} \right] + \text{const} \quad (4.35)$$

Điều kiện biên:

Khác với chất rắn, điều kiện biên của chất lỏng rất phức tạp, đặc biệt là điều kiện biên mặt thoáng. Điều kiện biên của chất lỏng có mấy dạng chính:

+ Điều kiện không thấm

$$v_n|_s = V_n(t) \quad (4.36)$$

Ở đây V_n là vận tốc theo phương pháp tuyến của biên. Điều kiện này buộc chất lỏng chuyển động với vận tốc theo phương pháp tuyến của thành cứng.

+ Điều kiện dính

$$v_t|_s = V_t(t) \quad (4.37)$$

Ở đây V_t là vận tốc theo phương tiếp tuyến của biên. điều kiện này buộc chất lỏng phải bám vào biên khi chuyển động.

+ Điều kiện mặt thoáng (mặt tự do) gồm 2 điều kiện

- Điều kiện động học: giả sử mặt thoáng mô tả bởi phương trình $f(r,z,t)=0$ thì điều kiện động học có dạng

$$\frac{df}{dt}|_s = 0 \quad (4.38)$$

Điều kiện này thể hiện sự liên tục của mặt thoáng.

- Điều kiện động lực học:

$$p|_s = p_0(t) \quad (4.39)$$

Trong đó p_0 là áp suất mặt thoáng.

Như vậy trong 3 loại điều kiện thì điều kiện mặt thoáng là phi tuyến và phức tạp. Bây giờ ta sẽ áp dụng các điều kiện biên này trong bài toán cụ thể của dòng chảy qua đầu pittông. Ta trở lại với hình 3 đầu pittông chuyển động trong xy lanh. Chất lỏng chuyển động từ trái sang phải qua khe giữa đầu pittông. Đầu pittông có thể có hình dạng bất kỳ (trong hình chỉ vẽ cho trường hợp đơn giản nhất). Đầu pittông chia chất lỏng làm 3 vùng, vùng nén, khe, và vùng dẫn. Ở vùng nén có các thành cứng nên có thể dùng được các điều kiện biên không thấm và điều kiện biên dính. Ở vùng dẫn, chất lỏng mất tính liên tục nên các phương trình toán học không thể mô tả được trạng thái chuyển động của chất lỏng trong vùng này. Điều kiện biên gồm các điều kiện biên tại thành cứng và điều kiện mặt thoáng tại đầu ra của khe.

Lời giải giải tích

Mục này chúng tôi tóm tắt những kết quả giải tích kinh điển, từ đó có kết quả để so sánh với phương pháp số. Để có những kết quả giải tích, bài toán còn được đơn giản hoá hơn nữa để trở về bài toán một chiều dừng. Vì thế điều kiện biên cũng chỉ thoả mãn cho một chiều. Giả thiết rằng đầu pittông có dạng hình trụ, bài toán gần

đúng có thể coi là dùng một chiều dọc trục, tức là bỏ qua thành phần phụ thuộc thời gian và thành phần v_r trong các phương trình.

-Trường hợp chất lỏng lý tưởng, không nhớt:

$$F = \frac{\rho \pi R^4}{8h^2} V^2 \quad (4.40)$$

Kết luận rút ra từ hai lời giải giải tích là: khe càng nhỏ, độ nhớt càng lớn thì thành phần ma sát càng chiếm ưu thế, ngược lại nếu bán kính xylanh càng lớn, khối lượng riêng càng lớn và vận tốc càng lớn thì thành phần quán tính càng chiếm ưu thế. Lời giải giải tích cho ta những đánh giá sơ bộ. Lời giải số của chúng tôi tính cho bài toán hai chiều không dùng với dạng hình học tùy ý của đầu pittông.

Giới thiệu công cụ phương trình đạo hàm riêng viết bằng MATLAB

Để giải các phương trình đạo hàm riêng hai chiều chúng tôi sử dụng gói công cụ phương trình đạo hàm riêng. Đây là gói công cụ mạnh và hiệu quả để giải các phương trình đạo hàm riêng hai chiều không gian và một chiều thời gian. Phương pháp được sử dụng là phương pháp phần tử hữu hạn cho phép xác định miền hai chiều, chia lưới, điều kiện biên, xác định các hệ số của phương trình và hiển thị dạng hình ảnh. Gói công cụ cho phép giải những phương trình tổng quát sau:

-Phương trình elliptic:

$$-div(\mathbf{c} \otimes grad(\bar{u})) + \mathbf{a}\bar{u} = \bar{f} \quad (4.41)$$

-Phương trình hyperbolic:

$$\mathbf{d} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} - div(\mathbf{c} \otimes grad(\bar{u})) + \mathbf{a}\bar{u} = \bar{f} \quad (4.42)$$

-Phương trình parabolic

$$\mathbf{d} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - div(\mathbf{c} \otimes grad(\bar{u})) + \mathbf{a}\bar{u} = \bar{f} \quad (4.43)$$

Với \bar{u} , \bar{f} là vectơ, \mathbf{d} và \mathbf{a} là các ma trận hệ số, \mathbf{c} là một tenxơ. Ba phương trình trên là các phương trình đạo hàm riêng bậc 2 với 2 biến không gian với các điều kiện biên tổng quát:

- Điều kiện biên Dirichlet:

$$\mathbf{h}\bar{u} = \bar{r} \quad (4.44)$$

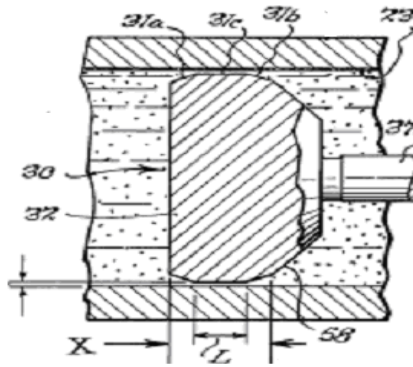
- Điều kiện biên Neumann tổng quát:

$$\bar{n}(\mathbf{c}grad(\bar{u})) + \mathbf{q}\bar{u} = \bar{g} \quad (4.45)$$

Trong đó \mathbf{h} , \mathbf{q} là ma trận vuông, \bar{n} là vectơ pháp tuyến của biên và \bar{g} , \bar{r} là vectơ.

Mô tả bài toán dòng chảy qua đầu pittông bằng gói công cụ PDE Toolbox

Mục này sẽ áp dụng gói công cụ PDE Toolbox vào bài toán ta quan tâm. Ta xét đầu pittông có dạng như hình 4.4



Hình 4.4. Hình dạng đầu pittông

Đầu pittông gồm một đoạn nằm ngang có chiều dài L , chiều dài cả đầu pittông là X , hai bên được vát 1 góc θ so với phương ngang. Xylanh có bán kính R và có một khoảng cách h với đầu pittông để chất lỏng chảy qua.

Vẽ miền chất lỏng cần mô tả

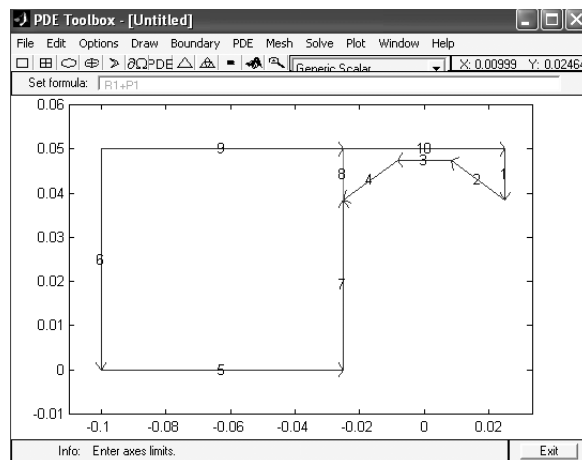
Ta chỉ xét chất lỏng trong miền nén và khe. Do bài toán đối xứng trục nên ta cũng chỉ vẽ một nửa của xylanh. Vì vậy, khi vẽ trong gói công cụ sẽ có mô tả hình học dạng như trên hình 4.5.

Chia lưới

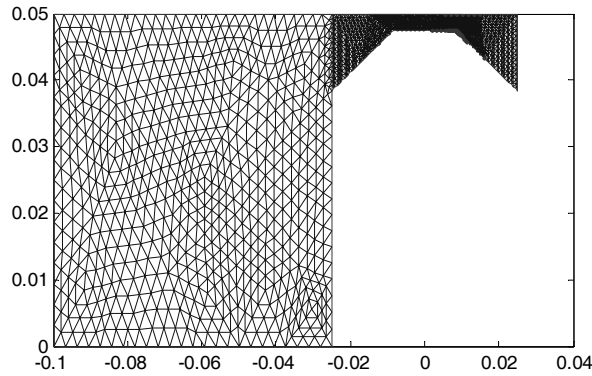
Ta thực hiện chia lưới miền đã vẽ, lưới tại miền khe được chia dày hơn. Lưới có dạng các phần tử tam giác được phần mềm chia tự động. Dạng lưới chia như trên hình 4.6.

Mô tả phương trình

Vì trong hai trường hợp tới hạn, các phương trình mô tả là khác nhau nên các hệ số phương trình cũng khác nhau



Hình 4.5. Vẽ miền chất lỏng trong gói công cụ PDE



Hình4. 6. Chia lưới miền khảo sát

** Trường hợp chất lỏng nhẹ*

Đây là hệ phương trình đạo hàm riêng với 3 biến.

** Trường hợp chất lỏng lý tưởng, không nhớt*

Đây là hệ phương trình đạo hàm riêng với 1 biến.

Xác định điều kiện biên.

Ta xét tổng quát bài toán không dừng. Giả sử vận tốc chuyển động tương đối của xylanh so với pittông là:

$$v = V_0 \sin(2\pi ft) \quad (4.46)$$

trong đó f là tần số dao động tính bằng Hz.

** Trường hợp chất lỏng nhẹ*

Điều kiện biên bao gồm:

- Điều kiện dính và không thấm trên các biên. Kết hợp với phương trình đã lập thì đây là điều kiện biên Dirichlet.

- Điều kiện áp bằng 0 tại biên. Điều kiện này cũng là điều kiện Dirichlet. Ở đây để đơn giản hoá ta đã giả sử biên một là mặt thoáng.

** Trường hợp chất lỏng lý tưởng, không nhớt*

Điều kiện biên bao gồm

- Điều kiện không thấm trên các biên. Kết hợp với phương trình đã lập thì đây là điều kiện biên Neumann.

- Điều kiện về vận tốc tại đầu ra 1. Đây cũng là điều kiện biên Neumann.

Kết quả tính toán

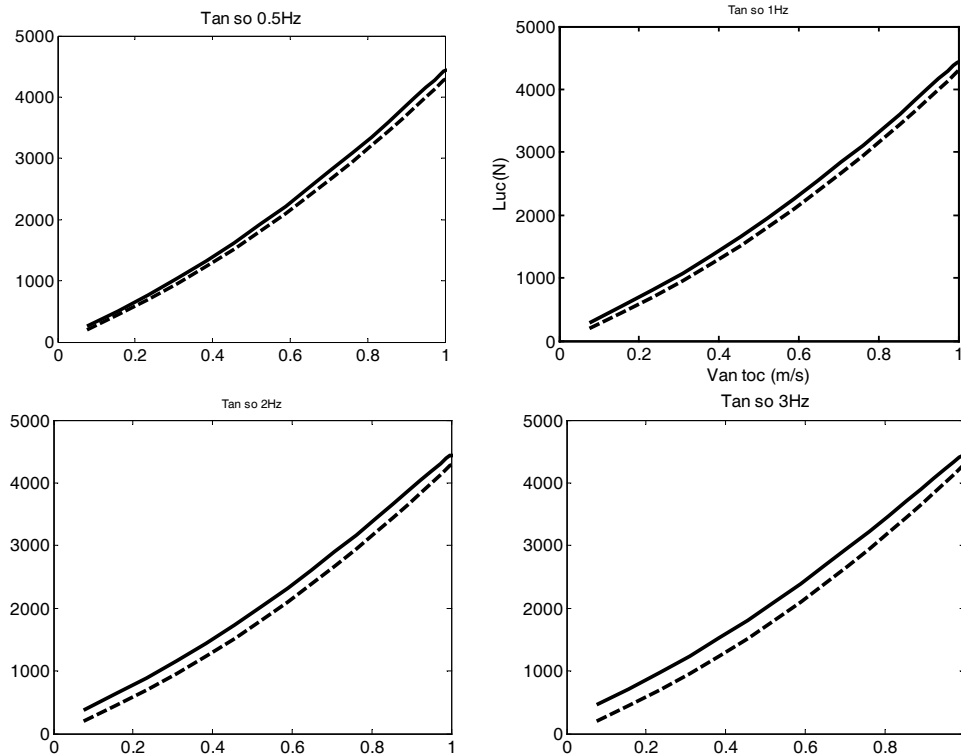
Ta xét các số liệu của xylanh và pittông trên hình 4.5 như sau:

- + bán kính xylanh $R=7\text{cm}$
- + chiều dài đầu pittông $X=5\text{cm}$
- + chiều dài phần nằm ngang $L=X/2$
- + hệ số nhớt động lực $\mu=0.1 \text{ kg/ms}$
- + khối lượng riêng $\rho=980\text{kg/m}^3$

+ vận tốc lớn nhất $V_0=1\text{m/s}$

-So sánh với nghiệm giải tích

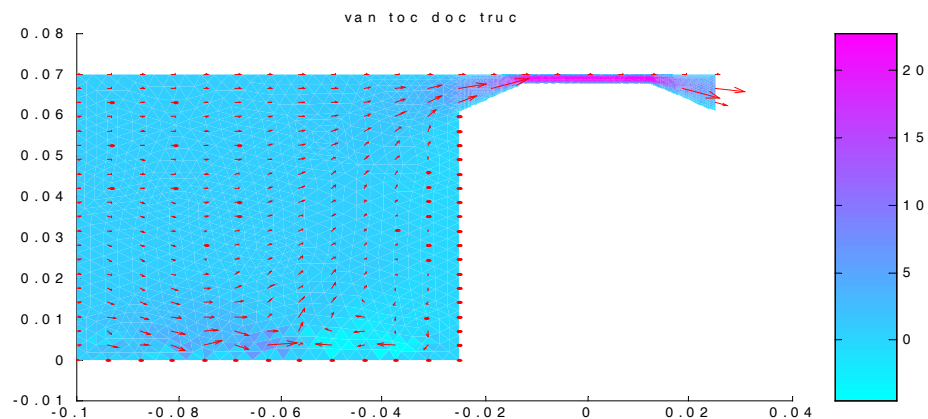
Để so sánh với nghiệm giải tích, đầu tiên xét góc vát $\theta=0$, độ rộng khe $h=R/30$. Ta xét đường cong lực vận tốc với các tần số khác nhau.



Hình 4.7. Đường cong lực vận tốc

đường trên: Lời giải giải tích - đường dưới: Lời giải số

Như vậy có thể thấy khi tần số càng tăng thì sự sai khác giữa bài toán dừng (lời giải giải tích) và bài toán không dừng (lời giải số) càng lớn. Từ các đồ thị ta cũng thấy rằng lực không hoàn toàn tỷ lệ tuyến tính với vận tốc do có sự đóng góp của thành phần quán tính (tỷ lệ với bình phương vận tốc).

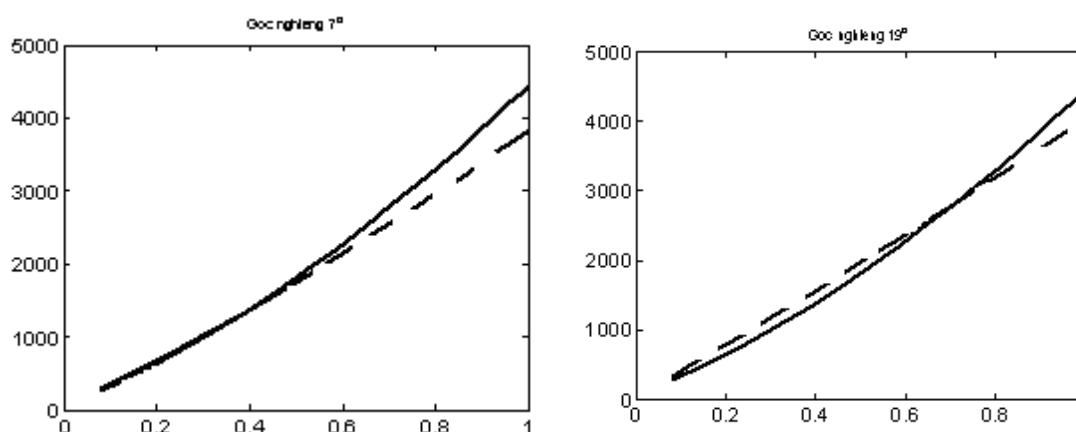


Hình 8. Mô tả dòng chất lỏng qua đầu pittông

Trên hình 4.8, màu đậm ở vùng khe thể hiện vận tốc lớn. Chiều mũi tên chỉ chiều dòng chảy. Trong trường hợp tạo ra góc nghiêng, khe cần hẹp đi để đảm bảo độ lớn của lực sinh ra. Để làm ví dụ ta xét 2 trường hợp:

- + Góc nghiêng bằng 7° , độ rộng khe $h=R/35$, tần số 0.5Hz
- + Góc nghiêng bằng 19° , độ rộng khe $h=R/40$, tần số 0.5Hz

Kết quả so sánh với trường hợp khe thẳng được cho trên hình 4.9



Hình 4.9. So sánh liên hệ lực vận tốc khi có và không có đoạn nghiêng trên đầu pittông
1-Nét đứt: Có đoạn nghiêng, 2-Nét liền: Khe thẳng

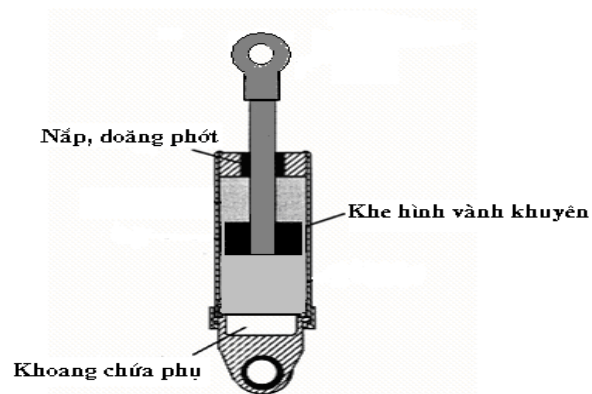
So sánh hai trường hợp ta thấy việc tạo thêm các đoạn nghiêng có tác dụng tạo ra đặc trưng tuyến tính giữa lực và vận tốc. Ta cũng chú ý rằng nếu tăng góc quá lớn lại làm cho chất lỏng mất tính liên tục ở đoạn nghiêng tại đầu ra, lúc đó các phương trình của ta không còn phù hợp để mô tả chất lỏng. Dù sao cũng cần có tính toán để chọn góc nghiêng tối ưu.

c. Phân tích giới thiệu cấu tạo chi tiết của một số thiết bị TTNL dùng nguyên lý cản nhót được sản xuất trên thế giới

Bộ TTNL của Đài Loan

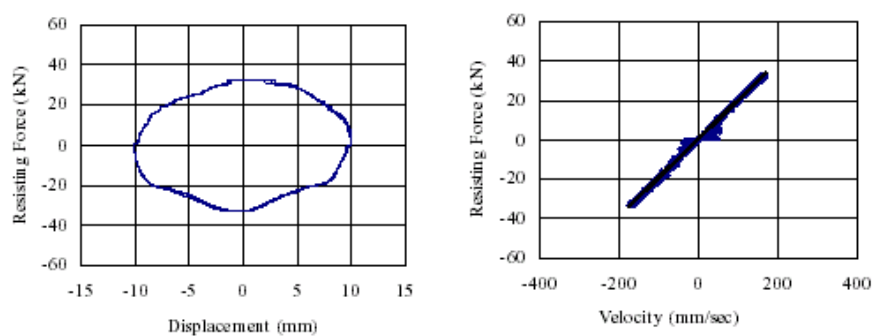
Mặt cắt dọc và ngang của bộ TTNL được chỉ ra như hình 4.10, 4.11. Tỷ số giữa diện tích của khe hở và xy lanh được xác định theo công thức:

$$\xi = k \frac{A_1}{A_2} \quad (4.47)$$



Hình 4.10. Mặt cắt dọc và ngang của bộ TTNL Đài Loan

Mối liên hệ lực cản với dịch chuyển và vận tốc được vẽ trên hình 4.11.



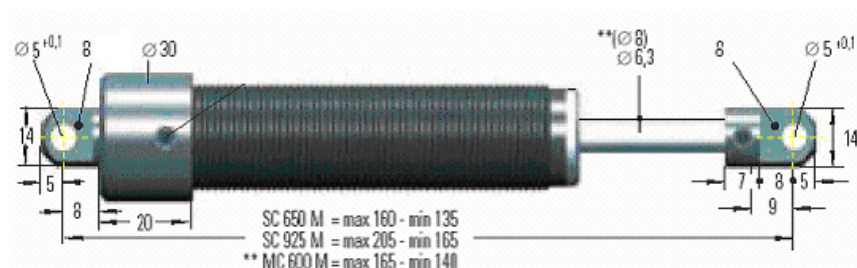
Hình 4.11. Đồ thị lực - chuyển dịch, lực - vận tốc của bộ TTNL

Hệ số $C=19\text{kNs/m}$.

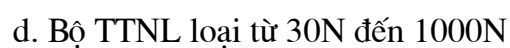
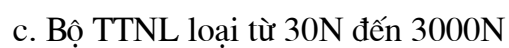
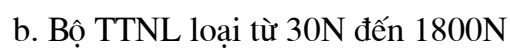
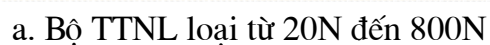
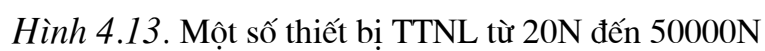
Bộ TTNL của hãng ACE Control International

Dưới đây là một số bộ TTNL của hãng ACE CONTROL.

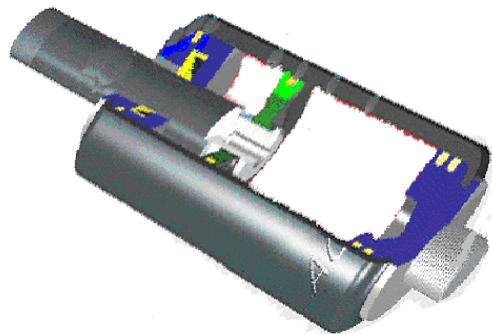
Loại	Khối lượng			Lực N
	min	kg	max	
FA 1008 V-B	0.6	-	10	3 - 6
FA 1008 VD-B	0.2	-	10	3 - 6
MA 35 M	5.9	-	57	5 - 11
MA 150 M-B	1.0	-	109	3 - 5
MA 225 M	2.3	-	226	5 - 10
MA 600 M	9	-	1360	10 - 30
MA 900 M	14	-	2040	10 - 35



Hình 4.12. Bộ TTNL của hãng ACE control



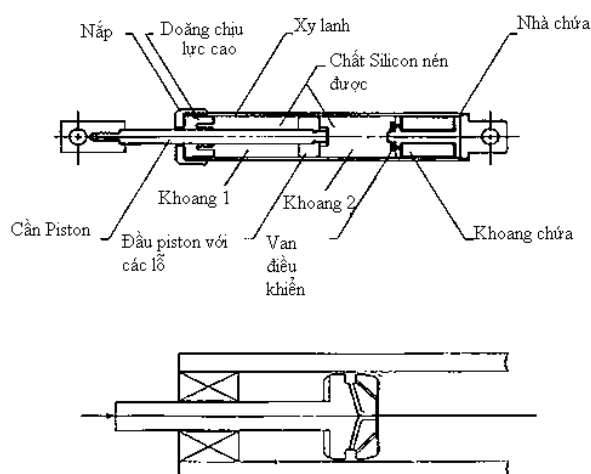
Hình 4.14. Một số thiết bị TTNL của hãng ACE control



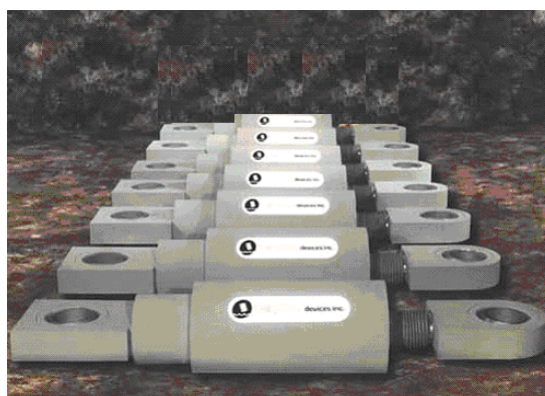
Hình 4.15. Cấu tạo bên trong bộ TTNL của hãng ACE control

Bộ TTNL của Hãng Taylor

Sơ đồ cấu tạo và hình ảnh được giới trên hình 4.16 và 4.17. Các thiết bị của hãng được ứng dụng trong rất nhiều công trình thực tế, Bảng 4.1.



Hình 4.16. Cấu trúc bộ TTNL cảm nhớt của hãng Taylor



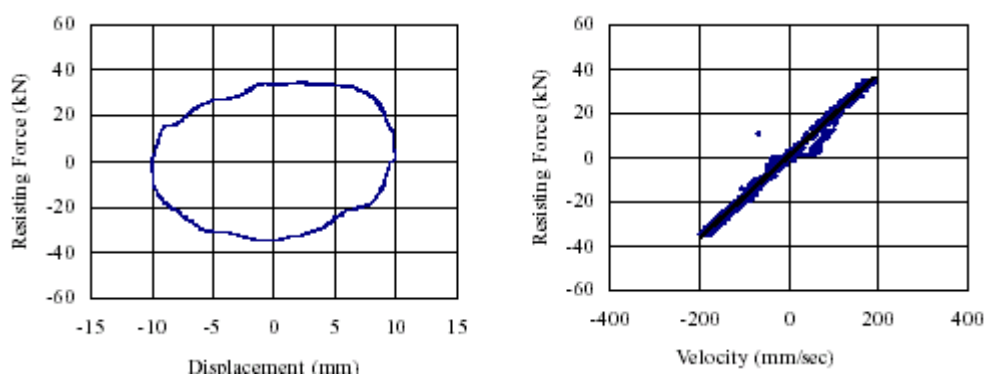
Hình 4.17. Bộ TTNL của hãng Taylor Devices

Tên cầu	Địa điểm	Loại TTNL	Lắp đặt vào năm	Loại kích động	Mục đích
Veterans Memorial Bridge-Texas	USA/ Groves, TX	Bộ TTNL Taylor Tổng cộng: 80 25 kN, ± 150 mm	2003	Gió	Gia cố cho cầu dây văng. Bộ TTNL được gắn vào dây cáp để giảm chuyển động gây ra bởi mưa và gió
Cochrane Bridge	USA/ Mobile, AL	Bộ TTNL Taylor Tổng cộng: 68 40 kN, ± 150 mm 22 kN, ± 150 mm	2003	Gió	Gia cố cho cầu dây văng. Bộ TTNL được gắn vào dây cáp để giảm chuyển động gây ra bởi của mưa và gió
Millennium Bridge	UK/ London	Bộ TTNL Taylor Tổng cộng: 37 50 kN, ± 25 mm 50 kN, $\pm 153/-$ 377 mm 50 kN, $\pm 40/-80$ mm	2001	Người đi bộ	Giảm dao động gây ra bởi những đám đông đi bộ qua cầu.

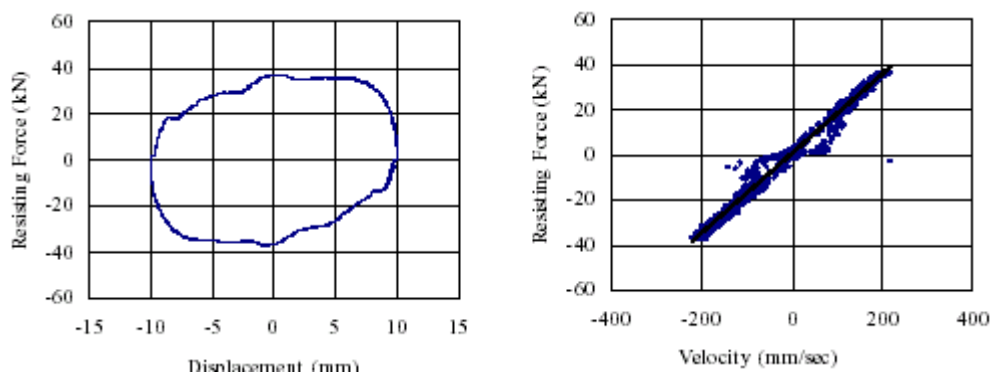
Bảng 4.1. Một số thiết bị TTNL của hãng Taylor Devices

d. Nghiên cứu áp dụng mô hình cơ học tính toán đặc tính TTNL của thiết bị TTNL dùng nguyên lý cản nhớt

Ta có thể vẽ được đặc tính Lực-chuyển dịch và Lực-Vận tốc của các bộ TTNL



Hình 4.18. Kết quả kiểm tra, trường hợp tần số 3.0 Hz và biên độ 10mm



Hình 4.19. Kết quả kiểm tra, trường hợp tần số 3.5 Hz và biên độ là 10mm

Dựa trên các kết quả thu được từ thí nghiệm tuần hoàn, sự liên hệ giữa lực cản của bộ TTNL và vận tốc của piston trong xy lanh bộ TTNL được xác định và vẽ trên hình 4.19. Mỗi liên hệ là một hàm tuyến tính như sau:

$$F=0.19V \quad (4.48)$$

Hệ số cản bằng 0.19 là một hằng số. Để thiết kế và đánh giá chất lượng bộ TTNL, người ta thường đề cập đến các tham số: vận tốc thiết kế, biên độ thiết kế, lực lớn nhất, số mũ vận tốc, hệ số cản, khoảng biến thiên nhiệt độ và khoảng biến thiên tần số.

- Vận tốc thiết kế là vận tốc lớn nhất mà bộ TTNL phải chịu. Vận tốc thiết kế tùy thuộc vào kết cấu.

- Biên độ thiết kế là khoảng dịch chuyển lớn nhất của pittông. Nó cũng phụ thuộc vào kết cấu. Nếu biên độ này quá lớn thì cần có các cơ cấu bảo vệ bộ TTNL khỏi bị cong.

- Lực lớn nhất đặc trưng cho độ lớn của bộ TTNL. Nó quyết định giá cả của bộ TTNL. Mỹ đã chế tạo được bộ TTNL có lực lớn nhất là 900 tấn. Loại áp dụng vào cầu dây văng thường khoảng 2-4 tấn.

- Số mũ vận tốc đặc trưng cho khả năng tiêu tán năng lượng. Thường có giá trị từ 0.5 đến 2. Số mũ càng nhỏ thì khả năng tiêu tán năng lượng càng tốt.

- Hệ số cản đặc trưng cho tỷ lệ giữa lực và vận tốc.

- Khoảng biến thiên nhiệt độ và tần số cho thấy miền nhiệt độ và tần số có thể áp dụng bộ TTNL một cách ổn định.

Năng lượng tiêu tán được tính theo công thức:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} FV dt = \oint F dx \quad (4.49)$$

Công thức này có được vì FV là công suất của bộ TTNL. Vậy năng lượng chính là diện tích phần giới hạn bởi đường cong trên đồ thị lực chuyển dịch. Rõ ràng ta thấy rằng với cùng một lực lớn nhất do bộ TTNL sinh ra thì số mũ vận tốc càng nhỏ sẽ càng tiêu tán nhiều năng lượng.

e. Phân tích thí nghiệm của các công ty sản xuất công bố trên thế giới về các sản phẩm mẫu TTNL dùng nguyên lý cản nhót

Việc thiết kế các bộ TTNL đã được phát triển cho những nhịp cầu đỡ của cầu Golden Gate có sử dụng các bộ TTNL. Các mô tả chi tiết của thiết kế toàn bộ và căn bản của sự chọn lựa các bộ TTNL được cung cấp bởi [Rodriguez and Ingham, 1995] và [Ingham et al, 1995]. Những bộ TTNL này đạt được các khả năng sau:

- Làm giảm dịch chuyển dọc tương đối tại các khớp nối, khoá gió, do vậy làm triệt tiêu ảnh hưởng của nhịp đỡ vào tháp cầu.
- Làm giảm ứng suất của tháp cầu dịch chuyển dọc, giảm yêu cầu về độ cứng của các thanh giằng.
- Được sử dụng để cách ly các nhịp bên cạnh và tháp cầu để tránh sự cùng dao động của các hệ thống này.

Thêm vào khả năng chống động đất, các bộ giảm chấn còn có tác dụng ngăn ngừa các dao động do gió, bão, va đập mạnh. Sự cần thiết phải kiểm tra các bộ giảm chấn để xác định loại tiêu hao năng lượng có khả năng đạt được yêu cầu về lực và dịch chuyển. Trong quá trình thiết kế, do chưa có tiền lệ sử dụng các bộ TTNL cho việc chống dao động cho các cây cầu, nên để xác định xem các bộ TTNL chất lỏng có thể cung cấp các hiệu quả như mong muốn hay không, người ta phải tiến hành thí nghiệm. Chương trình thí nghiệm được thực hiện tại trường đại học tổng hợp California, trung tâm nghiên cứu động đất Berkeley (EERC) để kiểm chứng những tính chất lí thuyết của các bộ TTNL thu nhỏ theo tỷ lệ và cung cấp trước khả năng kỹ thuật của sự chế tạo để đưa ra biện pháp chống động đất cho cầu Golden Gate.

Kiểm tra các bộ TTNL áp dụng cho cầu Golden

Có tất cả 4 chiếc được thử nghiệm và đều là các thiết bị TTNL một trục. Về cơ bản chúng có dạng hình trụ, gồm một piston và cần piston chuyển động tương đối so với thân chính của bộ TTNL. Các đầu nối cuối có lắp thêm các ổ bi cầu. Những bộ cản được thí nghiệm là những bộ thu nhỏ so với các bộ cản thật mà sẽ được sử dụng trang bị cho các cây cầu. Lý do các bộ cản thật cần phải thu nhỏ lại là để có thể đạt được kích thước hợp lý của thiết bị thí nghiệm.

Ba trong bốn bộ cản có mối liên hệ lực - vận tốc thiết kế là :

$$F=99,6v^{0,5} \text{ (kN)} \quad (4.50)$$

và một bộ TTNL có mối liên hệ lực - vận tốc thiết kế là:

$$F=342,5v^{0,1} \text{ (kN)} \quad (4.51)$$

Bộ này để dành cho các thí nghiệm có vận tốc lớn hơn 2,54 (cm/s).

Tất cả các bộ TTNL kiểm tra được thiết kế để tạo ra lực cản khoảng 445 (kN) ở vận tốc 50,8 cm/s và có dải dịch chuyển khoảng $\pm 15,24$ cm. Các giá trị này đại diện cho các tỷ lệ thu nhỏ như sau 1:6,5 với lực; 1:4 với dịch chuyển và 1:3,75 với vận tốc.

Những chi tiết quan trọng cần xem xét khi thí nghiệm một bộ TTNL thu nhỏ:

- áp suất xung quanh và áp suất khi làm việc.

- Các thiết kế khe, lỗ.
- Các hệ thống nắp, doăng, phốt bịt kín.
- Loại chất TTNL.
- Thiết kế chi tiết như sự cong, oằn, ứng suất giới hạn

Những nhà chế tạo bộ TTNL yêu cầu phi chắc chắn các tính chất và chức năng cơ bản của các bộ TTNL thu nhỏ và các bộ TTNL thực tế càng giống nhau càng tốt, về các nhân tố trên và các nhân tố quan trọng khác, việc thử nghiệm các bộ thu nhỏ kích thước sẽ có ý nghĩa và cho các kết quả biểu lộ cách hoạt động của các bộ giữ đúng kích thước thực sự.

Chương trình kiểm tra

Những mục tiêu của chương trình kiểm tra và một vài mô tả của những kiểu kiểm tra được cung cấp trong những phần tiếp theo. Chương trình thử nghiệm và các kết quả thu được từ tất cả bốn bộ cảm kiểm tra, được mô tả chi tiết trong [Aiken and Kelly, 1995].

Các mục tiêu chính

Những mục tiêu chính của chương trình kiểm tra bao gồm:

- Đánh giá hiệu suất của các bộ cảm dưới một dải vận tốc hằng, tuần hoàn để xác định những mối quan hệ chủ yếu.
- Đánh giá các mối liên hệ cơ bản của các bộ TTNL dưới những dải nhiệt độ rộng, dải biên độ dịch chuyển tuần hoàn và dải tần số.
- Đánh giá khả năng tiêu hao năng lượng của các bộ TTNL dưới tải trọng mà dịch chuyển có dạng hình sin.
- Nối các bộ cảm vào các dịch chuyển mô phỏng dao động ngẫu nhiên được xác định từ các phân tích của thiết kế.

Mô tả

Chương trình kiểm tra được phát triển để kiểm nghiệm các mục tiêu trên bao gồm 50 thử nghiệm và kéo dài trong 2 tuần cho việc thử nghiệm từng bộ TTNL. Chương trình kiểm tra bao gồm bốn phần chính:

1. Các thử nghiệm tuần hoàn ban đầu
2. Thử nghiệm khả năng mỏi, sự kín khít.
3. Những thử nghiệm tuần hoàn.
4. Những thử nghiệm ngẫu nhiên.

Các thử nghiệm khác cũng được thực hiện để xác định lực ma sát của bộ TTNL.

Những thử nghiệm tuần hoàn

Tất cả các chương trình thử nghiệm bao gồm các thử nghiệm vận tốc hằng số tuần hoàn được thử nghiệm cho một dải vận tốc, biên độ, nhiệt độ. Dải vận tốc bắt đầu từ 2,54 đến 50,8 cm/s (2,54; 5,08; 12,70; 25,4; 38,1 và 50,8 cm/s) với biên độ $\pm 1,524$;

2,54; 7,62; 15,24 cm và nhiệt độ 4,44⁰C; 21,11⁰C; 51,67⁰C. Trước hết, những thử nghiệm của các bộ TTNL bao gồm một loạt các thử nghiệm tuần hoàn, thực hiện ở 21,11⁰C, nhằm cung cấp đặc tính của các bộ TTNL trong thử nghiệm sức chịu đựng mỏi. Sau khi được thực hiện thử nghiệm mỏi, tiếp theo tiến hành những thử nghiệm tuần hoàn. Do vậy, hai bộ thử nghiệm có thể được so sánh để đánh giá sự thay đổi bất kì nào trong hoạt động của các bộ cản do số lượng lớn chu kỳ tải trong thử nghiệm mỏi. Một sê thử nghiệm tuần hoàn bao gồm 5 chu kỳ của tải trọng được thực hiện ở 21,11⁰C và được thực hiện lặp lại ở 4,44⁰C và 51,67⁰C. Do có khoảng nhiệt độ ở xung quanh các bộ TTNL cho tất cả các thí nghiệm loại này nên lực tác động vào bên cạnh bộ TTNL để mô phỏng trọng lực không được đưa vào.

Thử nghiệm mỏi, độ kín của vỏ

Thử nghiệm này nhằm kiểm tra độ mỏi, kín của vỏ, doăng, phốt, nắp bít của bộ giảm chấn. Thử nghiệm bao gồm 1800 chu kỳ của tải trọng với vận tốc không đổi 1,27 cm/s và với biên độ $\pm 15,24$ cm. Thử nghiệm được thực hiện trong trường hợp không có khoang điều khiển nhiệt độ xung quanh bộ TTNL, và với một lực bên cạnh đặt vào để mô phỏng trọng lực. Tổng thời gian của các thử nghiệm mỏi khoảng 24h và mất khoảng 3-4 ngày để hoàn thành cho các bộ TTNL.

Những thử nghiệm tiêu hao năng lượng hình sin

Thêm vào các thử nghiệm tuần hoàn vận tốc không đổi, một số các thử nghiệm hình sin được thực hiện để đánh giá khả năng tiêu hao năng lượng của những bộ TTNL. Những thử nghiệm sin có biên độ 5,08; 10,16; 15,24 cm và những vận tốc cực đại vào khoảng 12,7; 25,4; 50,8 (cm/s). Tất cả các thử nghiệm hình sin trừ một thử nghiệm còn lại đều gồm 5 chu kỳ tải; thử nghiệm còn lại là thử nghiệm 10 chu kỳ với biên độ $\pm 15,24$ cm và đỉnh vận tốc là 50,8 (cm/s).

Thử nghiệm với dịch chuyển động đất

Thử nghiệm bao gồm các dịch chuyển lớn nhất có thể làm được của thí nghiệm theo tỷ lệ của phân tích tổng thể của cầu Golden Gate.

Thử nghiệm ma sát

Thử nghiệm rất chậm bằng điều khiển lực một chiều được thực hiện để đánh giá lực ma sát của các bộ cản. Thử nghiệm này bao gồm lực lên bộ TTNL thật chậm cho đến khi cần piston bắt đầu chuyển động. Thử nghiệm này được tiến hành theo chiều đi và chiều về của tải trọng.

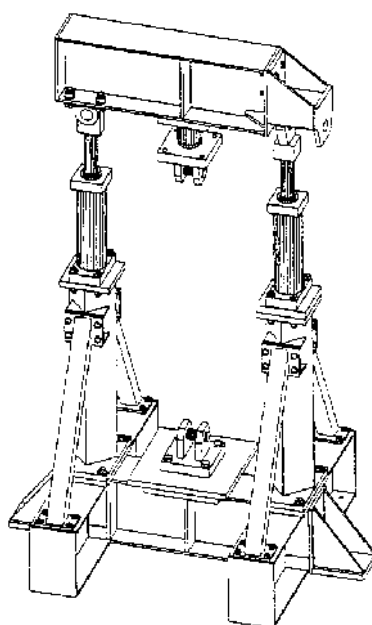
Máy kiểm tra

Máy kiểm tra được thiết kế và chế tạo đặc biệt cho chương trình kiểm tra bộ TTNL. Máy kiểm tra được thiết kế để sử dụng năng lượng toàn bộ của hệ thống bơm thủy lực và để xác định các đặc điểm lớn nhất của thiết kế các bộ TTNL. Máy kiểm tra các bộ

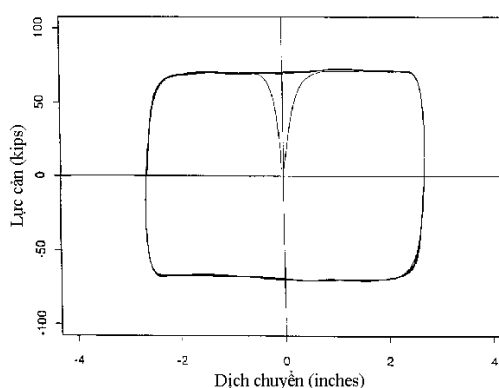
cản ở vào tư thế đứng thẳng bao gồm hai xy lanh ở hai bên là hai xy lanh thuỷ lực 28 tấn hai chiều. Trên hình 4.20 là mô tả máy thí nghiệm. Mỗi máy tạo lực được điều khiển bởi một van sécvô 757 l/s.

Những kết quả thử nghiệm

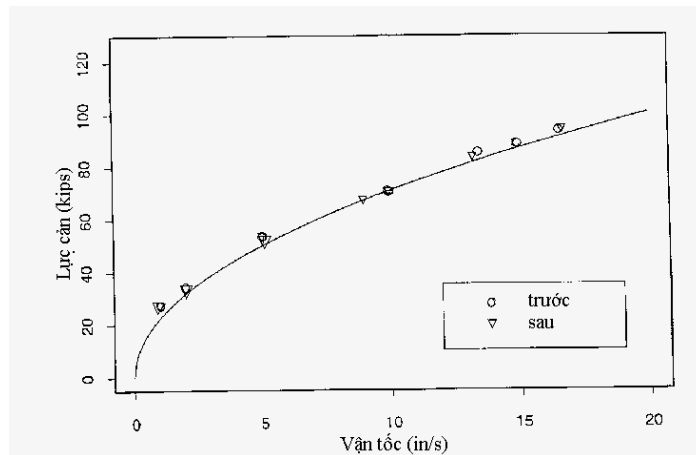
Một số kết quả cho một trong các bộ TTNL được trình bày ở đây. Hình ảnh đặc trưng cho dịch chuyển - lực của một thí nghiệm vận tốc hằng số được chỉ ra trên hình 4.21. Thí nghiệm gồm năm chu kỳ với mục tiêu vận tốc không đổi bằng 25,4 cm/s. Có thể thấy rằng lực cản rất ổn định và lặp lại trong thí nghiệm này. Lưu ý rằng lực cản là một hàm của vận tốc và vận tốc ứng dụng lại là hầu như không đổi, do đó lực cản cũng hầu như không đổi trong miền dịch chuyển.



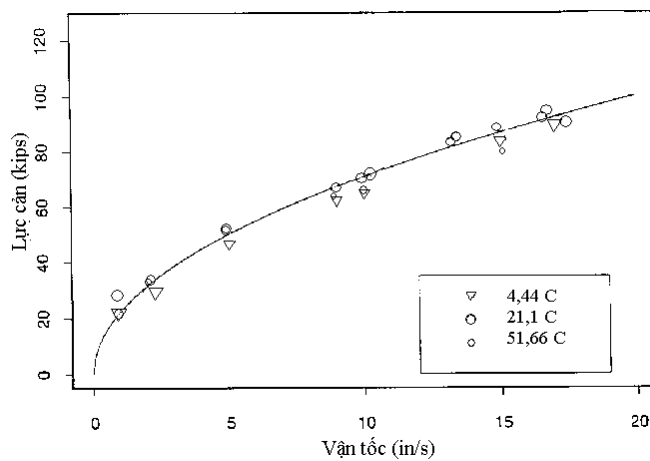
Hình 4.20: Máy thí nghiệm bộ TTNL.



Hình 4.21. Đồ thị đặc trưng lực - dịch chuyển với thử nghiệm vận tốc không đổi theo chu kỳ (5 chu kỳ; 25,4 cm/s; $\pm 7,62$ cm; $21,1^{\circ}\text{C}$)



Hình 4.22: Lực cản nhớt theo vận tốc ở 21,1°C với các thử nghiệm vận tốc không đổi trước và sau khi thí nghiệm mỗi.



Hình 4.23: Lực cản nhớt theo vận tốc.

Hình 4.22 tóm tắt tất cả các thử nghiệm vận tốc hằng số trước và ngay sau khi kiểm tra mỗi. Đường liên tục trong hình vẽ là liên hệ lực-vận tốc tìm được bằng lý thuyết. Có thể thấy rằng thí nghiệm mỗi biểu hiện ảnh hưởng nhỏ lên thể hiện lực - vận tốc của bộ TTNL. Không có bộ TTNL nào thể hiện bất kì thay đổi nhận thấy được sau khi thử mỗi 1800 chu kỳ. Hình 4.23 tóm tắt lại các kết quả cho tất cả các thử nghiệm vận tốc hằng số được thực hiện trên bộ TTNL, tại 4,44°C; 21,1°C; 51,66°C. Đường thẳng đậm là quan hệ lực - vận tốc tìm được bằng lý thuyết.

Kết luận

Chương trình kiểm tra được mô tả ở trên là một đại diện trong những nỗ lực toàn diện nhằm đánh giá các bộ TTNL cho các ứng dụng chống dao động. Các bộ TTNL từ nhiều loại khác nhau được gắn với chương trình thí nghiệm để đánh giá tính chất động lực của chúng, cho phép ta nghiên cứu ứng xử của các bộ TTNL ở một khoảng rộng các lực tác động. Nói chung, các bộ TTNL hoạt động tốt.

Thí nghiệm kiểm tra bộ TTNL của Hãng Taylor

Một loạt những thí nghiệm hợp lại trong đó từng thí nghiệm đã được tiến hành ở những lực tác động khác nhau để xác định các tính chất cơ học và sự phụ thuộc vào tần số của bộ TTNL thí nghiệm. Sự lắp đặt thêm các bộ cản cho thấy đã làm giảm đáng kể đáp ứng của kết cấu. Những đáp ứng thu được từ thí nghiệm đã được so sánh với những đáp ứng thu được bằng giải tích từ mô hình toán học của bộ cản và được sử dụng để thành lập các phương trình chuyển động. Những so sánh sự giống nhau giữa mô hình toán học và kết quả thí nghiệm đã thu được kết quả tốt. Khi xét đến sự phụ thuộc vào tần số, sự làm việc của những bộ cản thí nghiệm về cơ bản là tuyến tính trong dải tần số dưới 4 Hz. Bên trên tần số 4 Hz, bộ TTNL thể hiện lộ tính đàn nhót. Bên cạnh đó, nhiệt độ có ảnh hưởng nhỏ đến sự làm việc của những bộ TTNL thí nghiệm.

Những chi tiết về thiết bị TTNL và thí nghiệm được cho trong các bảng 4.2, 4.3.

Bảng 4.2. Chi tiết thành phần của bộ TTNL của hãng Taylor

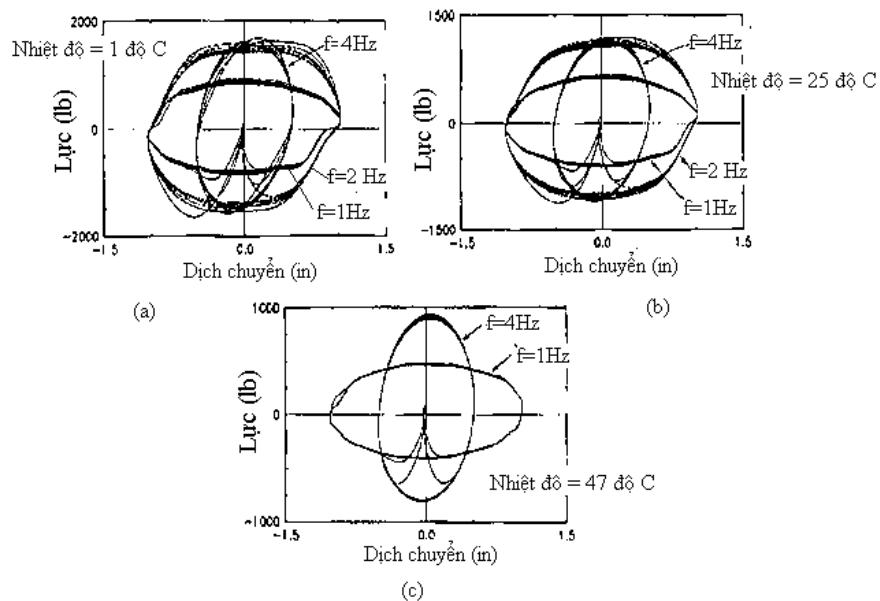
Nhà chế tạo	Taylor Devices, Inc.	
Khả năng dịch chuyển (hành trình)	4	mm
Lực cản nhót thiết kế	8.92	kN
Lực cản nhót thiết kế	44.6	kN
Lực cản nhót thiết kế	89.2	kN
Lực cản nhót thiết kế	133.8	kN
Khả năng dịch chuyển (hành trình)	5	mm

Bảng 4.3. Chi tiết thí nghiệm của hãng Taylor

Tần số lực	Hz	1	2	4	6	8
Nhiệt độ kiểm tra	Độ C	2	23	48		
Dải vận tốc	mm/sec	16.4	32.9	98.6	164.4	241.8



Hình 4.24: Bố trí thí nghiệm



Hình 4.25: Kết quả lực-dịch chuyển

(a) (a) -Nhiệt độ thấp, (b)-Nhiệt độ phòng, (c)-Nhiệt độ cao
(1 in = 25.4 mm, 1lb=4.46 N)

Những so sánh sự giống nhau giữa mô hình toán học và kết quả thí nghiệm đã thu được kết quả tốt.

f. Đánh giá khả năng ứng dụng cho kết cấu, các máy tốc độ cao, rôbot và khả năng chế tạo các thiết bị TTNL dùng nguyên lí cản nhớt ở Việt Nam

Như đã phân tích ở Việt Nam có rất nhiều lĩnh vực có khả năng ứng dụng để giảm dao động:

- Giao thông vận tải

- Ô tô, tàu hỏa, tàu thủy,
- Các phương tiện vận chuyển dạng cáp treo,
- Công nghiệp
- Các máy cơ khí tốc độ cao
- Các thiết bị công nghiệp nặng chịu va chạm
- Hàng không vũ trụ
- Quốc phòng
- Xe tăng, tên lửa, pháo...
- Xây dựng
- Cầu dây văng, nhà cao tầng, sân vận động,
- Các kết cấu xây dựng trên vùng động đất
- Các kết cấu ngoài khơi

Một số bộ phận kết cấu có thể áp dụng thiết bị TTNL để giảm dao động có hại

- Lắp đặt trong kết cấu khung
- Lắp đặt tại móng công trình
- Lắp đặt vào dây văng của cầu dây văng
- Lắp đặt vào các tháp cầu, trụ cầu
- Lắp đặt vào kết cấu vòm của sân vận động
- Lắp đặt trên tầng cao của cao ốc

Khả năng chế tạo thiết bị TTNL tại Việt Nam

Sau khi thiết kế, hoàn toàn có khả năng tiến hành chế tạo các thiết bị TTNL tại các nhà máy cơ khí ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Một số sự cố công trình xây dựng ở Việt Nam*, Cục Giám định thiết kế và xây dựng Nhà nước, 1992.
2. Nguyễn Trường Hưng, *Dao động của công trình và ảnh hưởng của nó tới môi trường chung quanh*, Người xây dựng số tháng 8,9 – 2003.
3. Phạm Ngọc Toàn, Phan Tất Đắc,(1975), *Khí hậu Việt Nam*, Nhà Xuất bản khoa học kỹ thuật Hà Nội.
4. Trần Việt Liễn,(1975), *Phân bố tốc độ và áp lực gió tính toán trên lãnh thổ Việt Nam*. Khí tượng thủy văn.
5. Ngô Huy Quỳnh, (1984), *Kiến trúc truyền thống Việt Nam trong cách nhìn của khoa học vật lý xây dựng hiện đại*. Viện Khoa học kỹ thuật xây dựng.
6. Nguyễn Thế Hùng. *Tăng cường khả năng chống động đất và gió bão cho nhà ở ở Việt Nam*. IHPB - Hà Lan, 1/1985.
7. Nguyễn Thuộc, Nguyễn Thế Hùng. *Về sự phá hoại công trình do cơn bão số 8/1985 gây ra ở Bình Trị Thiên*. Viện Khoa học kỹ thuật xây dựng cơ bản 12/1985.

8. *Nghiên cứu thử nghiệm độ bền giá chuyển hướng đầu máy GE-D9E*. Báo cáo kỹ thuật của XN Đầu máy Sài Gòn và Trung Tâm NCCCK Đường sắt, 2001.
9. *Phân tích, đánh giá trạng thái chịu tải động của giá chuyển hướng đầu máy toa xe bằng thực nghiệm*, Báo cáo kết quả đề tài KHCN Viện Cơ học, 2003.
10. Trương Nguyễn Mân, Nguyễn Tấn Vạn, Đặng Hữu Thông, Hoàng Vĩnh Thắng, Vũ Hồng Thuý, (1999), *Ngôi nhà và gió bão*, Nhà xuất bản xây dựng.
11. Số liệu tổng kết sau các cơn bão. Tài liệu của Bộ Xây dựng.
12. Tài liệu của Liên hiệp quốc về biện pháp phòng ngừa bão ở Úc, Seri Lanca.
13. Báo cáo của bộ Giáo dục về phòng bão cho các trường học.
14. P.C. Muller & W. O. Schichlen (1997), *Dao động tuyến tính*, Nhà xuất bản Xây dựng, người dịch Nguyễn Đông Anh.
15. Phan Nguyên Di, Nguyễn Văn Khang (1991), *Tính toán dao động máy*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
16. Nguyễn Văn Khang (1998), *Dao động kỹ thuật*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
17. Nguyễn Văn Đạo, Nguyễn Văn Khang, Nguyễn Cao Mệnh, Trần Doãn Tiến, *Dao động cơ học và ứng dụng trong kỹ thuật*, Hội Cơ học Việt nam, (1988).
18. Nguyễn Văn Khang, Vũ Văn Khiêm, *Về tính toán các dao động riêng trong hệ nhiều bậc tự do có các tham số biến đổi*, Tạp chí Cơ học, (1989), Số 4, trang 12-17.
19. Nguyễn Nhật Lệ (2000), *Tối ưu hoá ứng dụng*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
20. Đỗ Sanh (1992), *Cơ học, Tập 2*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà nội.
21. Nguyễn Chỉ Sáng, *Phương pháp tính bộ hấp thụ dao động cho hệ nhiều bậc tự do chịu kích động ngẫu nhiên*. Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ bảy, Hà nội 18-20 tháng 12, 2002, trang 345 ÷ 355, Nhà xuất bản đại học quốc gia Hà Nội.
22. Nguyễn Hoài Sơn, Đỗ Thanh Việt, Bùi Xuân Lâm (2000), *Ứng dụng MATLAB trong tính toán kỹ thuật*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.
23. Bishop, R. E. D. and Welbourn, D. B. (1952), *The Problem of the Dynamic Vibration Absorber*, Engineering, London.
24. Casciati F., K.T. Duc, N. C. Sang, *A Selection of Optimum Parameters For Tuned Mass Dampers*, Proceedings of Third World Conference on Structural Control, Como Italy, (2002), Vol 3, p. 753-758.
25. Crandall S. H. and Mark W. D. (1963), *Random Vibration in Mechanical Systems*, Academic Press, NewYork and London.
26. Chang J. C. H., Soong T. T., *Structural control using active tuned mass dampers*, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, (1980), 106; p. 1091-1098.
27. Den Hartog J.P. (1947), *Mechanical Vibrations* (3rd edn), McGraw – Hill: Newyork.
28. Eschenauer H., Kaski J. and Osyczka A. (1990), *Multicriteria Design Optimization*, Berlin: Springer-Verlag.

29. Falcon, K. C., Stone, B. J., Simcock, W. D. and Andrew, C., *Optimization of Vibration Absorbers. A Graphical Method for Use on Idealized Systems with Restricted Damping*, J. Mech. Eng. Science, (1967), 9, 374-381.
30. Faravelli L., Venini P., *Active structural control by Neural Networks*, Journal of Structural control, (1994), Vol. 1 N. 1-2, p79 – 102.
31. Fertis, D. G. (1973), *Dynamics and Vibration of Structures*, Wiley-Interscience, New York-London-Sydney-Toronto.
32. Frahm H. (1909), *Device for damped vibration of bodies*, U.S. Patent No 989958, Oct. 30.
33. Fujino Y. and Abe M., *Design Formulas for Tuned Mass Dampers Based on a Perturbation Technique*, Earthquake Eng. Struct. Dyn., (1993), 22, 833-854.
34. Gordon T. J., March C. and Milsted M. G., *A comparison of adaptive LQG and nonlinear controllers for vehicle active suspension systems*, Vehicle System Dynamics, (1991), 20, p. 321-340.
35. Gobbi M., Mastinu G., *Analytical description and optimization of the dynamic behaviour of passive suspended road vehicles*, Journal of Sound and Vibration, (2001), 245(3), p. 457-481.
36. Hrovat D., Barak P., Rabins M., *Semi-active versus passive or active tuned mass dampers for structural control*, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, (1983), 109, p. 691-705.
37. Ioi T., Ideka K., *On the dynamic vibration damped absorber of the vibration system*, Bulletin of Japanese Society of Mechanical Engineering, (1978), 21 (151), p. 64-71.
38. Jacquot R.G. and Hoppe, D. L., *Optimal Random Vibration Absorbers*, J. Eng. Mech., ASCE, (1973), 99, p. 612-616.
39. Jennige R. L. and Frohrib D. A., *Alternative Tuned Absorbers for Steady State Vibration Control of Tall Structures*, J. Mech. Des., ASME, (1977), Paper No. 77-DET-84,1-7.
40. Karnopp D. C., *Active damping in road vehicle suspension systems*, Vehicle System Dynamics, (1983), 12, p. 291-316.
41. Karnopp D. C. and Behery E. M. El., *Optimal Control of Vehical Random Vibration with Constrained suspension Deflection*. Journal of Sound and Vibration, (1996), 189 (5), p. 547-564.
42. Kobori T. and Minai R., *Analytical study on active seismic response control*. Transactions of the Architetural institute of Japan, (1960), No. 66 , p. 37 – 46.
43. Lin Y.K., Cai, G. Q. (1995), *Probabilistic Structural Dynamics. Advanced Theory and Applications*, Mc Graw-Hill, Inc.
44. Luft, R. W., *Optimal Tuned Mass Dampers for building*, J. Struct. Div., ASCE, (1979), 105(12), 2766-2772.
45. Lutes L. D. and Sarkani S. (1997), *Stochastic Analysis of Structures and Mechanics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
46. Matusov J. (1995), *Multicriteria Optimization and Engineering*. NewYork: Chapman & Hall.
47. Mehdi Setareh, *Application of semi-active tuned mass dampers to base-excited systems*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Earthquake Engng Struct. Dyn., (2001), 30, p. 449-462.
48. Meirovich L., (1967), *Analytical Methods in Vibration*, Macmillan, New York.

49. Mitropolsky Y. U., N. V. Dao, (1994), *Applied Asymptotic Methods in Nonlinear Oscillation*, Printing House of Science and Technology
50. M. J. D. Powell, (1989), *A FORTRAN packet for linear constrained optimization calculations*, University of Cambridge Numerical Analysis Reports DAM TP/NA2. TOLMIN.
51. Nigam N. C., Naraynan S. (1994), *Applications of Random Vibrations*, Naosa P.H.
52. Narayanan, *Optimal estimation and control of non-stationary response of a two-degree-of-freedom vehicle model*, Journal of Sound and Vibration, (1991), 149, p. 413-428.
53. N. D. Anh, *An identification algorithm for feedback active control*, presented at the 3rd International Workshop on Structural Control, Champ-Sur-Marne, (2000), p. 27-38.
54. N. D. Anh, K. T. Duc, N. C. Sang, *A Procedure for Selection of parameters of Tuned Mass Damper for Multi-Degree-of-Freedom Systems Subjected to Coloured Noise Excitation*, Journal of Science and Technique –N.97 Military Technical Academy, (2001), p. 58-65.
55. N. D. Anh, N. C. Sang, *A selection of parameters of tuned mass damper for multi-degree-of-freedom systems subjected to second order coloured noise excitation*, Vietnam Journal of Mechanics, NCST of Vietnam, (2003), Vol. 25 , No 2 (1-12).
56. N. D. Anh, N. C. Sang, *A Procedure for Proper Selection of Absorber Parameters for Multi Degree of Freedom Systems subjected to Harmonic Excitation*, Proceeding of the National conference “Vibration Engineering”, Nhà xuất bản quốc gia Hà nội, (2000), p. 25-34.
57. N. D. Anh, N. C. Sang, *A Selection Of an Optimal Tuned Mass Dampers For Multi-Degree-Of-Freedom-Systems*, Advances in Natural Sciences, (2004), Volume 4, No 1, p. 1-14.
58. N. D. Anh, N. C. Sang, *On the Optimal Control Force Applied to Tuned Mass Dampers for Multi-Degree-Of-Freedom System*. Vietnam Journal of Mechanics, NCST of Vietnam, (2004), Vol. 26 , No 1 (1-14).
59. N. D. Anh , Schiehlen W., *An approach to the problem of closure in the non – linear stochastic mechanics*. International journal of Mechanics, (1994), 29, p. 109-123.
60. Nguyen Tien Khiem, *General solution of FPK equation of vibratory systems in amplitude and phase*, Reports of USSR Acad Sci. (1991), V293, pp 875 ÷ 880.
61. Ю. А. Митропольский, Н. В. Дао, Н. Д. Анъ (1992), *Нелинейные Колебания в Системах Произвольного Порядка*, Киев Наукова Думка.
62. N. C. Sang, N. C. Thang, *Design of Active Tuned Mass Dampers using Linear Quadratic Regulation Control*, Proceedings of the Third Asian Conference on Industrial Automation and Robotics, (2003), p. 263-267.
63. Roh H. S. and Park Y., *Stochastic optimal preview control of an active vehicle suspension*, Journal of Sound and Vibration, (1999).
64. Schiehlen W. (1985), *Technische Dynamik*, B. G. Teubner, Stuttgart.
65. Schiehlen W. and Kreuzer, E. J. (1978), *Symbolic Computerized Derivation of Equations of Motion*, Berlin-Heidelberg-New York, p. 290-305.
66. Sen D. and Yang J. (1998), *Multiple Criteria Support in Engineering Design*, Berlin: Springer.

67. Setareh M., *Application of semi active tuned mass dampers to base excited systems*, Earthquake Eng. Struct. Dyn., (2001), 30: 449-462.
68. Snowdon (1960), *Passive isolation of Random vibration*, Pergamon Press, Oxford.
69. Soong T. T. (1989), *Active Structural Control. Theory and Practice*, John Willey & Son, Inc, NewYork.
70. Srinivasan (1969), *On the Dynamic Behavior of Bridge Dampers Under Seismic Excitation*, Pergamon Press, Oxford.
71. Stammers C. W , Sireteanu T., *Vibration control of machines by use of semi – active dry friction damping*, J. Sound and Vibration, (1998), 289(4), p. 671-684.
72. Thomson W. T. (1995), *Theory of Vibration with Applications*, George Allen and Unwin, London and Sydney, Second edition.

Bảng các thứ nguyên

Bảng 4.4 - Thứ nguyên của các đại lượng trong báo cáo

Đại lượng	Thứ nguyên (M-khối lượng, L-độ dài, T- thời gian)
Lực cản	ML/T^2
Độ nhớt tĩnh	M/T
Độ nhớt động học	L^2/T
Độ nhớt động lực học	$M/(LT)$
Hệ số cản C	M/T
Ứng suất tiếp	$M/(LT^2)$
Áp suất	$M/(LT^2)$
Khối lượng riêng	M/L^3
Trọng lượng riêng	$M/(L^2T^2)$

Độ nhớt

Độ nhớt động ν (m^2/s)

Độ nhớt động lực $\mu = \nu \rho = m^2/s * kg/m^3 = kg/m/s$

Độ nhớt của hai chất lỏng được tính gần đúng:

$$^oE = \frac{a^oE_1 + b^oE_2 - c(^oE_1 - ^oE_2)}{100}$$

Trong đó: a và b – Thành phần của hai chất có trong hợp chất ($a+b=100$)

oE_1 và oE_2 - độ nhớt của hai chất

c – hệ số phụ thuộc vào thành phần hai chất có trong hợp chất.

a	10	20	30	40	50	60	70	80	90
b	90	80	70	60	50	40	30	20	10
c	6,7	13,1	17,9	22,1	25,5	27,9	26,2	25	17

Đơn vị đo chuyển đổi:

$1 N/m^2 = 0,101972 kG/m^2$

$1 bar = 10^5 N/m^2 = 101972 kG/m^2 = 0,101972 kG/cm^2$

$1 at = 1 kG/cm^2 = 10^4 kG/m^2 = 9,81.10^4 N/m^2$

**VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN CƠ HỌC**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI CẤP NHÀ NƯỚC
MÃ SỐ KC 05.30**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ
TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG CHỐNG DAO ĐỘNG CÓ HẠI
PHỤC VỤ CÁC CÔNG TRÌNH KỸ THUẬT**

Chủ nhiệm đề tài: GS. TSKH NGUYỄN ĐÔNG ANH

TẬP 2

**NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CÔNG NGHỆ CHỐNG DAO ĐỘNG
CÓ HẠI CHO DÂY CÁP CẦU DÂY VĂNG**

HÀ NỘI – 12/2005

II. XÂY DỰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG CHỐNG DAO ĐỘNG CHO CÔNG TRÌNH KỸ THUẬT BẰNG THIẾT BỊ TTNL TUYẾN TÍNH THEO NGUYÊN LÝ CẢN NHỚT

1. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và thuật toán

a. Thiết lập mô hình hỗn hợp cho hệ kết cấu chứa thiết bị TTNL

Mô hình tính toán là hệ hỗn hợp, được rời rạc hoá bằng phương pháp phần tử hữu hạn, gồm 2 phần:

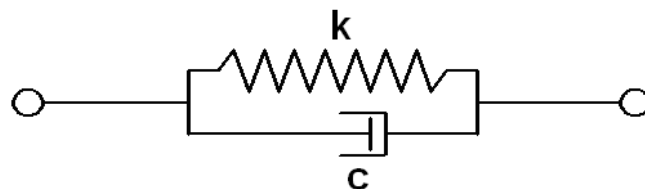
- Kết cấu cơ sở là các phần tử kinh điển như thanh, vỏ và các phần tử mới như phần tử dây cáp.

- Thiết bị tiêu tán năng lượng được mô hình hoá là các phần tử có một hoặc nhiều bậc tự do, có thể có bậc tự do riêng (chẳng hạn phần tử con lắc, TMD hoặc TLD) liên kết với kết cấu cơ sở bởi các phần tử đàn hồi và cản.

Việc xây dựng các ma trận của các phần tử thanh và vỏ được thực hiện như các lý thuyết kinh điển. Phần tử dây cáp được xây dựng như một thanh có độ cứng chống uốn phụ thuộc vào lực căng dây. Các phần tử tiêu tán năng lượng được xây dựng bằng cách viết phương trình chuyển động Lagrange của kết cấu có tích hợp thiết bị tiêu tán năng lượng, sau đó tách các ma trận độ cứng, độ cản và khối lượng thành 2 phần, một phần là các ma trận của kết cấu cơ sở, phần còn lại là các ma trận của thiết bị tiêu tán năng lượng cần tìm. Hầu hết các tải trọng động không tác dụng trực tiếp lên thiết bị tiêu tán năng lượng nên được xây dựng như lý thuyết kinh điển. Tuy nhiên, với tải trọng quán tính như tải trọng động đất thì cần phải thêm thành phần tác dụng vào khối lượng phụ thêm của thiết bị.

Mô hình hệ kết cấu chứa thiết bị TTNL dạng cản nhớt

Phần tử TTNL dạng cản nhớt là phần tử sinh ra lực cản tuyến tính với hệ số cản c và lực lò xo tuyến tính với độ cứng k theo phương dọc trục, không sinh ra lực theo các phương khác. Hai đầu của thiết bị được gắn vào kết cấu



Hình 1.1: Mô hình thiết bị TTNL dạng cản nhớt

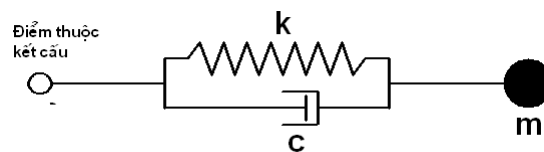
Hình dưới là ảnh lắp đặt một thiết bị TTNL cản nhớt trong thực tế



Hình 1.2: Lắp đặt thiết bị TTNl cản nhớt trong thực tế

Mô hình hệ kết cấu chứa thiết bị TTNL TMD

TMD là thiết bị gồm một khối lượng tập trung m gắn với lò xo có độ cứng k và bộ cản có hệ số cản c , gắn vào kết cấu tại một điểm, hình 1.3.



Hình 1.3: Mô hình thiết bị TMD

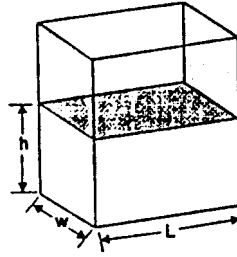
Hình dưới là ảnh lắp đặt một thiết bị TTNL TMD trong thực tế



Hình 1.4: Lắp đặt thiết bị TTNL TMD

Mô hình hệ kết cấu chứa thiết bị TTNL TLD

TLD là thiết bị có dạng bể chứa chất lỏng



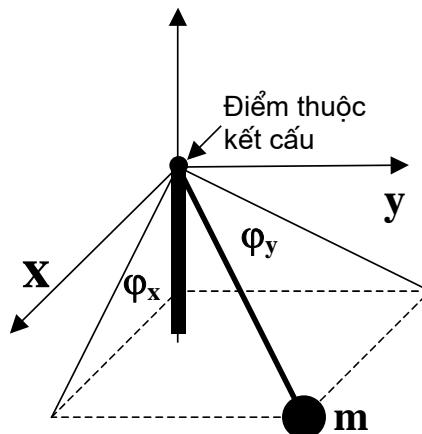
Trong thực tế, để tạo độ tiêu tán năng lượng cho phần tử TLD, người ta còn bổ sung các tấm chắn, màng ngăn hoặc các vật trôi nổi ... trong khối chất lỏng. Bể của TLD được gắn vào kết cấu và dao động sóng sánh của chất lỏng làm giảm dao động ngang của kết cấu. Hình dưới là ảnh lắp đặt một thiết bị TTNL TLD trong thực tế



Hình 1.5: Lắp đặt thiết bị TLD trong thực tế

Mô hình hệ kết cấu chứa thiết bị TTNL con lắc

Là phần tử gồm một khối lượng tập trung m gắn vào dây có chiều dài l , dây nối với kết cấu tại một điểm.



Hình 1.6: Mô hình thiết bị TTNL con lắc

Hình dưới là ảnh lắp đặt một thiết bị TTNL con lắc trong thực tế



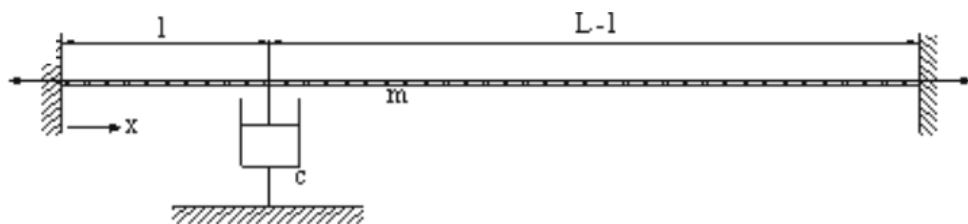
Hình 1.7: Lắp đặt con lắc trong thực tế

Trong thực tế, để tạo độ tiêu tán năng lượng cho con lắc, người ta phải lắp thêm các loại thiết bị TTNL khác (chẳng hạn thiết bị cản nhớt) vào khối lượng của con lắc. Dao động lắc lư của con lắc làm giảm dao động ngang của kết cấu

b. Nghiên cứu hệ dây có lắp đặt bộ cản nhớt tuyến tính

Nghiên cứu dao động riêng của dây bằng giải tích

Xét một dây cáp có gắn bộ cản nhớt tuyến tính. Độ võng và độ cứng của dây cáp nhỏ và được bỏ qua, mô hình hệ là một sợi dây thẳng với giả thiết biên độ dao động của dây bé, lực căng dây lớn hơn nhiều so với trọng lượng của dây. Hình dưới mô tả hệ dây hai đầu cố định, gắn một cản nhớt có hệ số cản c .



Hình 1.8: Mô hình dây cáp có gắn cản nhớt.

Dao động ngang của hệ dây - cản nhớt tuyến tính được cho bởi phương trình đạo hàm riêng

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - H \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = c \frac{\partial u(l, t)}{\partial t} \delta(x - l) \quad (1.1)$$

Trong đó $u(x, t)$: độ võng ngang, m : khối lượng của 1 đơn vị chiều dài, H : thành phần nằm ngang của lực căng cáp, x : tọa độ dọc theo trục cáp và $\delta(x)$: hàm Dirac. Dùng phương pháp tách biến số để tìm nghiệm phương trình (1.1), ta có:

$$u(x,t) = X(x)T(t) \quad (1.2)$$

Thay (1.2) vào (1.1) ta được

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \eta^2 T = 0 \quad (1.3)$$

$$\frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{m}{H} \eta^2 X = 0, \quad 0 \leq x \leq L, x \neq l \quad (1.4)$$

Có thể thấy rằng phương trình (1.4) đúng tại mọi điểm $x \in L$ ngoại trừ điểm đặt thiết bị giảm dao động $x=l$. Tại đây, tính liên tục của chuyển vị và điều kiện cân bằng lực phải được thoả mãn. Ta nhận được:

$$T(t) = e^{i\eta t} \quad (1.5)$$

$$\text{và} \quad X(x) = \begin{cases} A \sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} x, & 0 \leq x \leq l \\ B \sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-x), & l \leq x \leq L \end{cases} \quad (1.6)$$

Theo điều kiện về tính liên tục của chuyển vị tại điểm đặt thiết bị giảm chấn, ta có

$$A = \frac{X(l)}{\sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} l}, \quad B = \frac{X(l)}{\sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l)} \quad (1.7)$$

Sử dụng điều kiện về cân bằng lực tại điểm này sẽ suy ra

$$H \left(\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l+} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l-} \right) = c \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} \quad (1.8)$$

Ta được phương trình xác định tần số η

$$A \cos \eta \sqrt{\frac{m}{H}} l + B \cos \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l) = -\frac{icX(l)}{\sqrt{mH}} \quad (1.9)$$

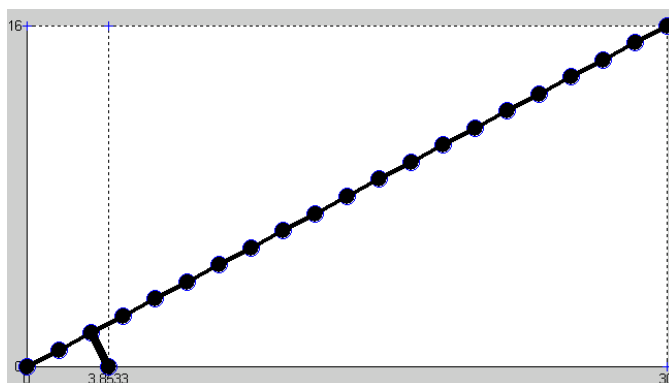
Thay (1.7) vào ta được

$$\cot \left(\eta \sqrt{\frac{m}{H}} l \right) + \cot \left(\eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l) \right) = -\frac{ic}{\sqrt{mH}} \quad (1.10)$$

Từ phương trình này có thể tính được các giá trị riêng và các dạng dao động riêng của dây cáp có lắp thiết bị cản nhớt.

Nghiên cứu dao động của dây cáp bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Trong trường hợp tổng quát, phương pháp giải tích không có khả năng nghiên cứu dao động của cáp. Các phương pháp số, chẳng hạn như phương pháp phần tử hữu hạn sẽ được sử dụng. Dây cáp có lắp thiết bị cản nhót sẽ được chia làm nhiều phần tử, trong đó có các phần tử cáp và phần tử TTNL dạng cản nhót. Mỗi phần tử có các ma trận đặc trưng riêng, sau đó tích hợp lại để thành hệ tổng thể.



Ví dụ hệ dây cáp lắp thiết bị TTNL cản nhót trên hình được chia thành 20 phần tử cáp và 1 phần tử TTNL.

c. Tính toán ảnh hưởng của khối lượng nước kéo theo

Dùng để tính khối lượng thực của một thanh dao động trong môi trường chất lỏng khi nghiên cứu vấn đề chống dao động của công trình biển do tải trọng sóng biển gây ra. Tải trọng sóng phân bố tại các phần tử ngập nước, phụ thuộc vận tốc tương đối, gia tốc tương đối, được xác định bằng công thức Morison và lý thuyết sóng Ery. Phần này được sử dụng để tính dao động của công trình biển trình bày tại Hội nghị khoa học về DKI, Hà nội tháng 11 năm 2005.

d. Tích hợp các thông số hình học, các điểm kết nối cho thiết bị TTNL

Thiết bị TTNL được tích hợp vào kết cấu theo các phương pháp của phần tử hữu hạn. Đầu tiên xác định vị trí điểm lắp đặt. Sau đó xác định vị trí các bậc tự do của điểm lắp đặt trong các ma trận tổng thể. Cuối cùng cộng các thành phần ma trận cứng, ma trận cản và ma trận khối lượng của thiết bị vào các vị trí trong các ma trận tổng thể.

e. Xây dựng các phương pháp số đánh giá đáp ứng của hệ

Đáp ứng của hệ được đánh giá qua 4 trường hợp :

Đáp ứng tĩnh:

Là trường hợp cần tính các đáp ứng của hệ khi chịu các tải trọng tĩnh. Bài toán đưa về giải hệ phương trình tuyến tính:

$$Kx=f \quad (1.11)$$

trong đó K là ma trận độ cứng của toàn hệ, x là vectơ đáp ứng của toàn hệ và f là vectơ tải trọng tác động vào toàn hệ.

Đáp ứng dao động riêng:

Là trường hợp cần tính các dạng dao động của hệ do điều kiện đầu gây ra.

Bài toán đưa về giải phương trình dạng riêng

$$|K + i\lambda C - \lambda^2 M| = 0 \quad (1.12)$$

với K , C và M là các ma trận độ cứng, độ cản và khối lượng, i là số ảo, λ là trị riêng cần giải. Hệ phương trình trên đưa về phương trình sau

$$|A - i\lambda B| = 0 \quad (1.13)$$

Với

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K & -C \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

trong đó I là ma trận đơn vị. Đây là bài toán trị riêng tổng quát.

Đáp ứng dao động cưỡng bức trên miền thời gian

Là trường hợp cần tính dao động của hệ theo thời gian do các tải động gây ra. Bài toán đưa về giải hệ phương trình vi phân cấp 2

$$\begin{cases} M\ddot{d} + C\dot{d} + Kd = f(x, t) \\ d(0) = d_0 \\ \dot{d}(0) = v_0 \end{cases} \quad (1.15)$$

Điều kiện đầu được cho thông qua véc tơ d_0 và v_0 , 2 véc tơ lần lượt chứa các giá trị đầu của chuyển vị và vận tốc dịch chuyển. Trong kết cấu, phương pháp hay sử dụng để giải hệ này là các phương pháp họ Newmark. Các bước tiến hành như sau:

-Tính các thông số ban đầu:

$$\{d\}_0 = d_0; \{\dot{d}\}_0 = v_0 \quad (1.16)$$

$$[A] = [M] + \delta h [C] + \alpha h^2 [K] \quad (1.17)$$

với h là bước tích phân, còn các hằng số sai phân có thể được lựa chọn tùy theo các phương pháp xử dụng:

$\alpha = 1/4; \delta = 1/2$: Phương pháp gia tốc trung bình,

$\alpha = 1/6; \delta = 1/2$: Gia tốc tuyến tính,

$\alpha = 0; \delta = 1/2$: Sai phân trung tâm

- Tại bước thời gian thứ n , ta tính các đại lượng chuyển dịch, vận tốc, gia tốc tại bước thời gian thứ $n+1$.

* Gia tốc tại bước $(n+1)$:

$$\{\ddot{d}\}_{n+1} = [A]^{-1} \left(\{f\} - [C] \left(\{\dot{d}\}_n + (1-\delta)h\{\ddot{d}\}_n \right) - [K] \left(\{d\}_n + h\{\dot{d}\}_n + \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) h^2 \{\ddot{d}\}_n \right) \right) \quad (1.18)$$

* Chuyển vị tại bước $(n+1)$:

$$\{d\}_{n+1} = \{d\}_n + h\{\dot{d}\}_n + h^2 \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \{\ddot{d}\}_n + h^2 \alpha \{\ddot{d}\}_{n+1} \quad (1.19)$$

* Vận tốc tại bước $(n+1)$:

$$\{\dot{d}\}_{n+1} = \{\dot{d}\}_n + (1-\delta)h\{\ddot{d}\}_n + \delta h\{\ddot{d}\}_{n+1} \quad (1.20)$$

Quá trình tiếp diễn đến bước thời gian cuối cùng.

Đáp ứng dao động cưỡng bức trên miền tần số

Trong trường hợp này cần tính đặc trưng dao động của hệ theo miền tần số. Bài toán đưa về việc tính hàm truyền H phụ thuộc vào tần số

$$H(\omega) = \left[\left[K + i\omega C - \omega^2 M \right]^{-1} p \right] \quad (1.21)$$

trong đó i là số ảo còn p là vectơ chứa các biên độ của ngoại lực điều hoà.

2. Xây dựng phần mềm mô phỏng chống dao động cho công trình kỹ thuật

a. Xây dựng phần mềm mô phỏng tải trọng tác động lên kết cấu

Tải trọng động dạng tổng quát (được sử dụng trong SAP và các phần mềm thông dụng khác) có dạng $\{F(t)\} = \sum_k \{S\}_k f_k(t)$, trong đó $\{S\}_k$ là các vectơ phân bố không gian,

$f_k(t)$ là các hàm thời gian tương ứng.

Các vectơ phân bố không gian gồm các loại :

- Tải trọng tập trung tại nút
- Tải trọng động học gây ra do chuyển dịch nút
- Tải gia tốc gây ra do gia tốc nền
- Tải trọng phân bố đều tại các phần tử thanh
- Tải trọng phân bố đều tại các phần tử vỏ.

Chi tiết về các tải phân bố được trình bày trong phần xây dựng các phần tử thanh và phần tử vỏ.

Các hàm thời gian gồm các loại

- Hàm thời gian theo quy luật xác định : Dạng hàm này không thường gặp trong kỹ thuật nhưng rất có ích cho nghiên cứu các hiện tượng cộng hưởng, phản cộng hưởng. Hàm số xác định có thể được người dùng mô tả một cách bất kỳ, hay gặp nhất là hàm có dạng tổng của các thành phần điều hoà với các tần số khác nhau.

- Hàm thời gian lấy từ file số liệu đo: File số liệu thường là các số liệu đo được về tải trọng gió, tải trọng động đất, tải trọng sóng ...

- Hàm thời gian lấy từ một chuỗi số ngẫu nhiên: dạng hàm này mô tả tải trọng ngẫu nhiên.

- Hàm thời gian lấy từ hàm xung, mô tả tải trọng va chạm

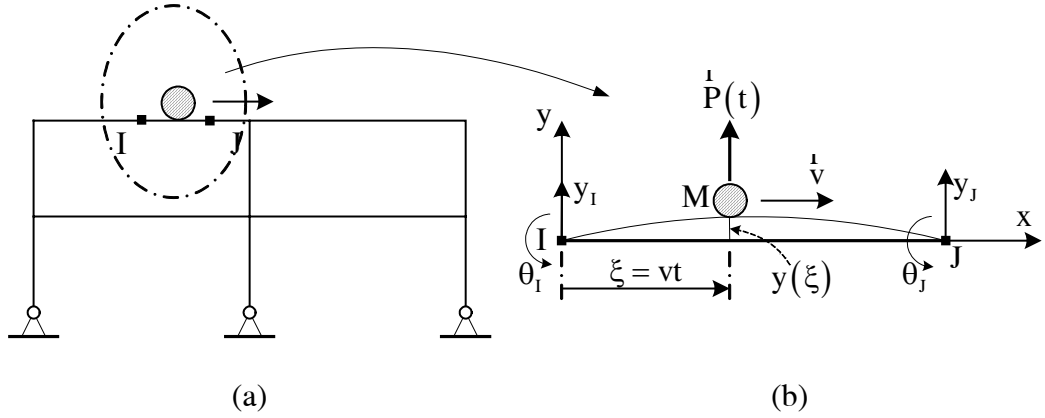
- Hàm thời gian tính tải trọng *sóng biển*. Tải trọng sóng được xác định bằng công thức Morison và lý thuyết sóng Eri, trong đó tính đến khối lượng kết hợp của nước, thành phần lực vận tốc được tuyến tính hoá theo phương pháp Dawson, phụ thuộc vận tốc nước và vận tốc kết cấu, tức là xét bài toán tương tác.

- Hàm thời gian tính tải trọng *di động* : Gồm nhiều tải di động chuyển động trên kết cấu theo phương ngang với vận tốc không đổi.

Mục tiêu đề tài là xây dựng công nghệ chống dao động cho cầu dây văng do vậy trong báo cáo trình bày chi tiết về cách tính tải trọng di động.

Tải trọng di động tác dụng lên phần tử dầm

Xét phần tử dầm có khối lượng phân bố đều ρ , chiều dài l , độ cứng chống uốn EJ . Tải trọng có khối lượng m và lực tác dụng theo phương thẳng đứng $\dot{P}(t)$, di chuyển trên phần tử dầm với vận tốc không đổi v như trên Hình 2.1.



Hình 2.1: Phân tử dầm chịu tác dụng của khối lượng di động

Giả sử khối lượng của tải trọng di động là nhỏ so với khối lượng của kết cấu, bỏ qua thành phần lực quán tính thì lực tác dụng của tải trọng di động đặt lên dầm tại vị trí $x = \xi = vt$ là:

$$R(x, t) = P(t) \quad (2.1)$$

Lực tác dụng trên có thể được mô tả bởi lực phân bố $p(x, t)$ có dạng:

$$p(x, t) = R(x, t) \cdot \delta(x - vt) \quad (2.2)$$

Trong đó, $\delta(\cdot)$ là hàm Delta-Dirac với các tính chất sau:

$$\delta(x - x_1) = 0 \quad \text{khi } x \neq x_1$$

$$\delta(x - x_1) = \infty \quad \text{khi } x = x_1$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{x_1 - \varepsilon}^{x_1 + \varepsilon} \delta(x - x_1) dx = 1$$

$$\int_a^b f(x) \delta(x - x_1) dx = f(x_1); \quad a < x_1 < b$$

Theo phương pháp phần tử hữu hạn, véc tơ lực nút của phần tử được xác định từ lực

phân bố $p(x,t)$ trên phần tử theo công thức

$$\{F(t)\} = \int_0^l [N]^T(x) p(x,t) dx = \int_0^l \delta(x-\xi) [N]^T(x) R(x,t) dx \quad (2.3)$$

Trong đó $[N]$ là ma trận các hàm dạng. Đối với phần tử dầm uốn ngang phẳng:

$$\begin{aligned} [N(x)] &= [N_1(x) \quad N_2(x) \quad N_3(x) \quad N_4(x)] \\ N_1(x) &= 1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}, \quad N_2(x) = x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}, \\ N_3(x) &= 3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}, \quad N_4(x) = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Thay vào biểu thức (2.3), ta được véc tơ lực nút do tải trọng di động gây ra là:

$$\{F(t)\} = \int_0^l [N]^T \delta(x-\xi) P(t) dx = [N]^T(\xi) P(t) \quad (2.5)$$

Như vậy tải trọng tác động lên phần tử dầm thay đổi theo thời gian không những chỉ phụ thuộc vào lực tác động vào vật di động mà còn phụ thuộc vào vị trí vật di động thông qua hàm dạng đã biết trong phương pháp phần tử hữu hạn.

Tải trọng di động tác dụng lên phần tử tấm chữ nhật

Giả sử rằng tải di động chạy theo phương x địa phương của tấm và chạy theo trục giữa của tấm. Các lý luận tương tự như trên, chỉ thay hàm dạng của phần tử dầm chịu uốn bằng hàm dạng của tấm chịu uốn

$$[N(x)] = [N_1(x) \quad \dots \quad N_{12}(x)], \quad (2.6)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} N_1(x) &= \frac{3x(x-l)}{l^3}, \quad N_2(x) = -\frac{l_y}{8l}, \quad N_3(x) = \frac{(l-3x)(x-l)}{2l^2}, \\ N_4(x) &= \frac{3x(l-x)}{l^3}, \quad N_5(x) = \frac{l_y}{8l}, \quad N_6(x) = \frac{(2l-3x)x}{2l^2}, \\ N_7(x) &= \frac{3x(l-x)}{l^3}, \quad N_8(x) = -\frac{l_y}{8l}, \quad N_9(x) = \frac{(2l-3x)x}{2l^2}, \\ N_{10}(x) &= \frac{3x(x-l)}{l^3}, \quad N_{11}(x) = \frac{l_y}{8l}, \quad N_{12}(x) = \frac{(l-3x)(x-l)}{2l^2}, \end{aligned}$$

Với l_y là chiều dài tấm theo phương y địa phương.

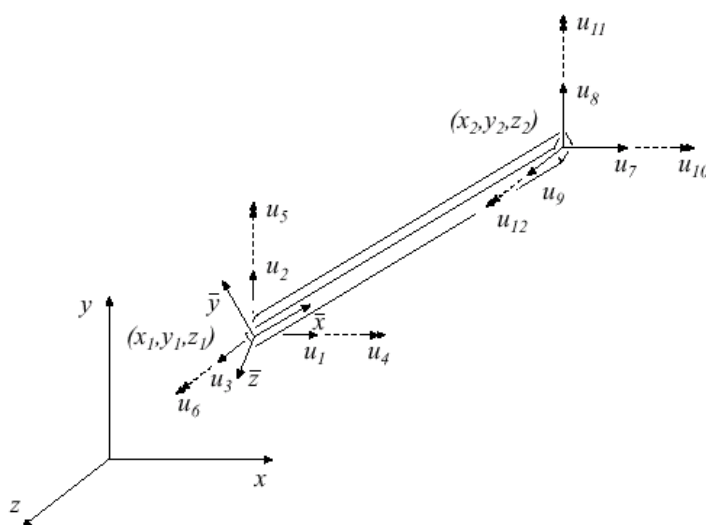
b. Xây dựng các phần tử kết cấu

Kết cấu được xây dựng gồm các phần tử: thanh, vỏ chữ nhật, vỏ tam giác, cáp, damper, TMD, TLD, con lắc.

- *Phần tử thanh 3 chiều*

* *Bậc tự do*

Phần tử thanh tổng quát có 12 bậc tự do ứng với 6 bậc tự do của 2 nút đầu và cuối. (Xem hình 2.2)



Hình 2.2: Các bậc tự do của phần tử thanh

* *Hệ tọa độ địa phương*

Hệ tọa độ địa phương của phần tử thanh gồm 3 trục x,y,z địa phương được chọn theo cách sau:

- Đầu tiên xuất phát từ hệ mặc định:

+ Trục x địa đi từ điểm đầu đến điểm cuối của thanh

+ Trục z địa phương nằm trong mặt phẳng Oxy tổng thể

+ Nếu thanh không thẳng đứng thì trục y địa phương được chọn hướng lên (tức là theo hướng dương của trục z tổng thể). Ngược lại, nếu thanh thẳng đứng thì trục y địa phương được chọn hướng theo chiều dương của trục x tổng thể.

Hệ mặc định được xác định theo cách này là duy nhất.

- Sau khi có hệ mặc định, người dùng có thể xác định hệ tọa độ địa phương mong muốn bằng cách xoay hệ mặc định đã chọn một góc nào đó quanh trục x địa phương.

* *Các tham số đầu vào*

Véc tơ $ep = [E \quad G \quad A \quad I_{\bar{y}} \quad I_{\bar{z}} \quad K_v]$ cung cấp các tham số liên quan đến vật liệu: mô đun đàn hồi E, mô đun trượt G, diện tích mặt cắt A, mô men quán tính theo trục y và trục z, độ cứng xoắn Xanh-Vécnăng K_v .

* *Tải phân bố*

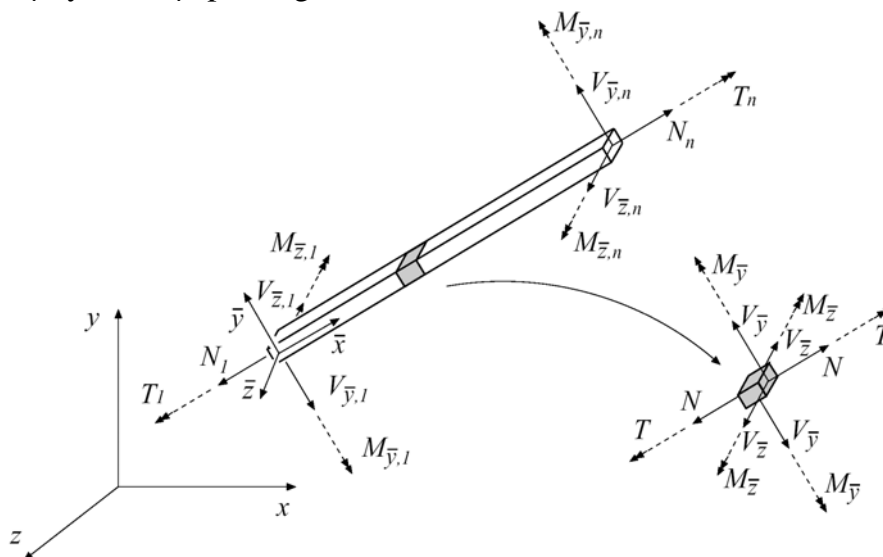
Phần tử thanh có thể chịu 4 loại tải trọng phân bố đều (tĩnh hoặc động): tải cắt theo 2 phương y và z địa phương, tải kéo nén theo phương x địa phương và tải xoắn quanh trục x địa phương.

* *Các ma trận của phần tử gồm:*

Ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận cản và vectơ tải phân bố. Các ma trận và vectơ này được xây dựng từ các lý thuyết uốn dầm phẳng, kéo nén thanh và xoắn thanh. Xem dạng của các ma trận và vectơ này trong .

+ *Nội lực*

Các thành phần nội lực là lực và mômen có được bằng cách tích phân ứng suất trên một mặt cắt ngang của thanh, bao gồm: lực dọc trục N, lực cắt V_y và V_z theo các trục y và z địa phương, mômen xoắn T quanh trục x địa phương, mômen uốn M_y và M_z quanh các trục y và z địa phương.



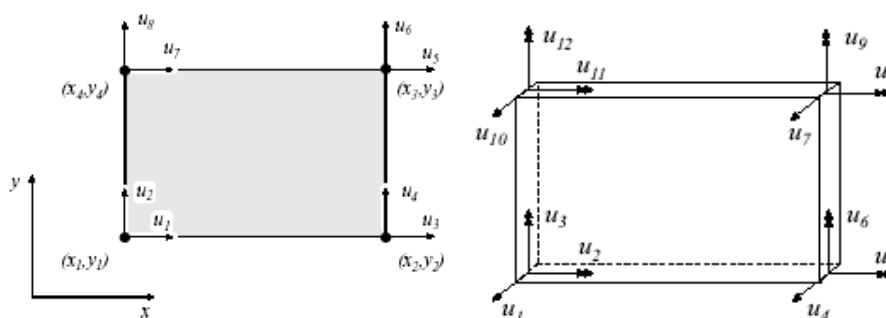
Hình 2.3: Nội lực của phần tử thanh

Các nội lực cũng được tính theo lý thuyết về uốn, kéo nén và xoắn thanh.

- Phần tử vỏ chữ nhật 3 chiều

* Bậc tự do

Phần tử vỏ chữ nhật tổng quát có 24 bậc tự do tương ứng với 8 bậc tự do trong mặt phẳng vỏ, 12 bậc tự do uốn và 4 bậc tự do xoắn, Hình 2.4.



Hình 2.4: Bậc tự do của phần tử vỏ chữ nhật

* Hệ tọa độ địa phương

Hệ tọa độ địa phương của phần tử vỏ chữ nhật được chọn theo cách sau:

- + Trục x địa phương đi từ điểm 1 đến điểm 2
- + Trục y địa phương đi từ điểm 2 đến điểm 3
- + Trục z địa phương được tạo thành bằng cách lấy tích vô hướng của trục x và y

* Các tham số đầu vào

Véc tơ $ep = [E \quad \nu \quad t]$ cung cấp các tham số liên quan đến vật liệu: mô đun đàn hồi E, hệ số Poisson ν , độ dày vỏ t

* Tải phân bố

Phần tử vỏ chữ nhật có thể chịu 3 loại tải trọng phân bố đều: tải kéo nén trong mặt phẳng vỏ theo phương x và y địa phương, tải cắt theo phương z địa phương

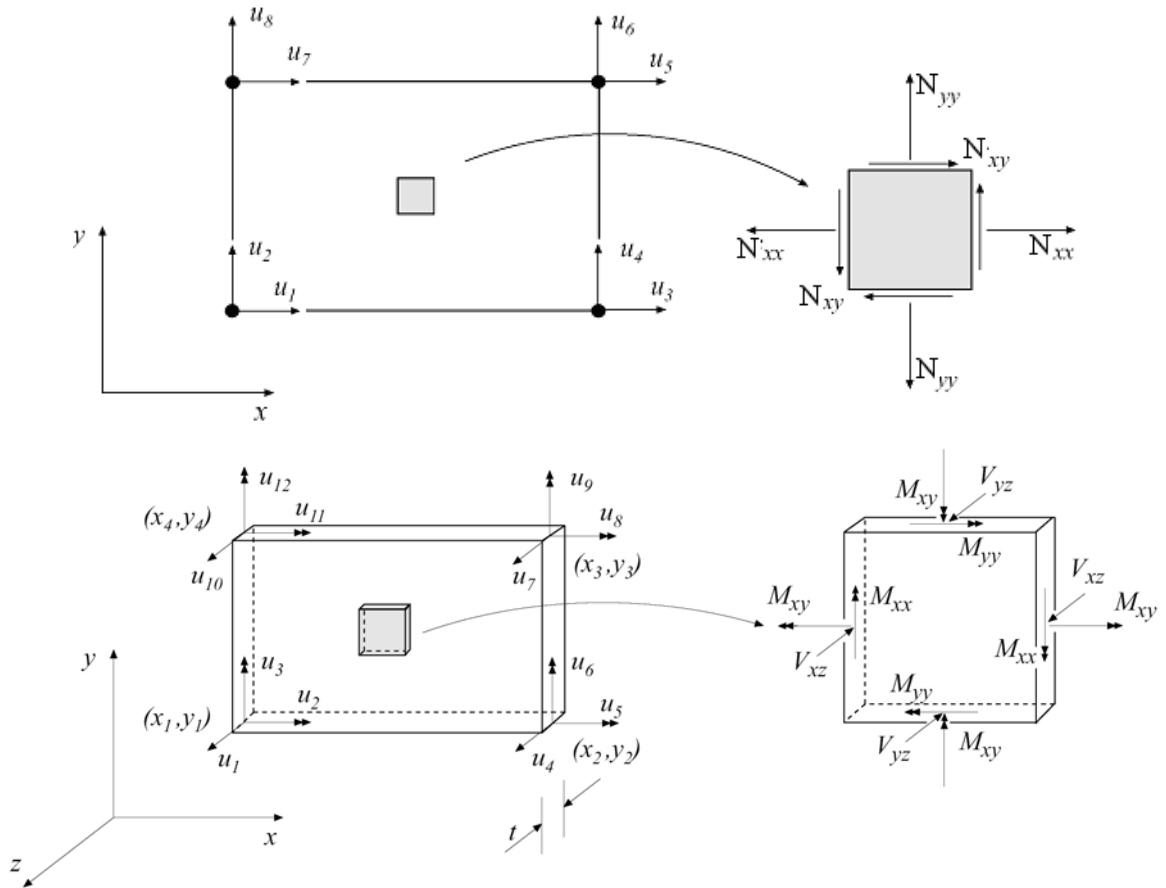
* Các ma trận của phần tử gồm:

Ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận cản và vectơ tải phân bố. Các ma trận và vectơ này được xây dựng từ lý thuyết ứng suất phẳng và lý thuyết uốn tấm mỏng của Kirchhoff.

* Nội lực

Các thành phần nội lực là lực và mômen có được bằng cách tích phân ứng suất dọc theo độ dày vỏ. Thử nguyên của các nội lực này là lực trên một đơn vị diện tích của mặt phẳng vỏ. Các nội lực này bao gồm:

+ 3 lực màng gồm 2 lực kéo nén N_{xx} , N_{yy} và 1 lực trượt N_{xy}
 + 5 lực uốn tấm bao gồm 2 mômen uốn M_{xx} , M_{yy} , 1 mômen xoắn M_{xy} và 2 lực cắt V_{xz} và V_{yz} , Hình 2.5.



Hình 2.5: Nội lực của phần tử vỏ chữ nhật

Các nội lực cũng được tính theo lý thuyết ứng suất phẳng và lý thuyết uốn tấm mỏng của Kirchhoff.

+ *Phần tử vỏ tam giác*

Được xây dựng tương tự như vỏ chữ nhật nhưng ít hơn một nút.

+ *Phần tử cáp chịu uốn*

Phương trình cân bằng phân tố dây chịu uốn ngang dưới tác dụng của lực căng và lực quán tính là :

$$\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (2.7)$$

T là lực căng (xem như không thay đổi dọc theo dây), ρ là khối lượng của một đơn vị chiều dài dây.

Gọi chiều dài của một phần tử dây là L , xấp xỉ độ võng phần tử bằng đa thức bậc 3 như phần tử dầm chịu uốn :

$$y^e = [N] \{q^e\} \quad (2.8)$$

thì phương trình cân bằng phần tử dây trở thành :

$$\left(\rho \int_0^L [N]^T [N] \right) \{q\} - \left(T \int_0^L [N]^T [N''] \right) \{q\} = 0 \quad (2.9)$$

Như vậy ta được ma trận khối lượng giống như phần tử dầm uốn ngang phẳng

$$[M^e] = \rho \int_0^L [N]^T [N] \quad (2.10)$$

còn ma trận độ cứng chống uốn của phần tử dây là :

$$[K^e] = -T \begin{bmatrix} \frac{6}{5L} & \frac{11}{10} & -\frac{6}{5L} & \frac{1}{10} \\ \frac{1}{10} & \frac{2}{15}L & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{30}L \\ -\frac{6}{5L} & -\frac{1}{10} & \frac{6}{5L} & -\frac{11}{10} \\ \frac{1}{10} & -\frac{1}{30}L & -\frac{1}{10} & \frac{2}{15}L \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

- Phần tử TMD

Giả sử TMD có khối lượng m_d , độ cứng k_d và độ cản c_d được lắp vào điểm I trên hệ. Giả sử toạ độ điểm I là x_I , y_I và z_I và các toạ độ này lần lượt có các vị trí i_1 , i_2 và i_3 (nếu các vị trí này tồn tại) trong vectơ bậc tự do x của hệ chính. Ta xét TMD giảm chuyển dịch của kết cấu theo 1 phương không gian Ox (trường hợp giảm chuyển dịch theo các phương Oy và Oz làm hoàn toàn tương tự). Trong trường hợp này, TMD sẽ chỉ có một chuyển dịch tương đối x_d theo phương Ox đối với điểm I. Ta sẽ thành lập phương trình chuyển động nhờ các phương trình Lagrange. Động năng, thế năng và hàm hao tán của hệ chính lần lượt là:

$$T = \frac{1}{2} \dot{x}^T M \dot{x} \quad V = x^T K x \quad F = \frac{1}{2} \dot{x}^T C \dot{x} \quad (2.12)$$

Động năng, thế năng và hàm hao tán của TMD lần lượt là:

$$\begin{aligned}
T_d &= m_d (\dot{x}_I + \dot{x}_d)^2 + m_d \dot{x}_I^2 + m_d \dot{x}_d^2 = m_d (\dot{x}_d + D_{xI}^T \dot{x})^2 + m_d (D_{yI}^T \dot{x})^2 + m_d (D_{zI}^T \dot{x})^2 \\
V_d &= k_d x_d^2 \\
F_d &= c_d \dot{x}_d^2
\end{aligned} \tag{2.13}$$

trong đó ta sử dụng ký hiệu các vectơ định vị:

$$D_{xI} = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 1 \quad \dots \quad 0]^T \tag{2.14}$$

↑

i_1

$$D_{yI} = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 1 \quad \dots \quad 0]^T \tag{2.15}$$

↑

i_2

$$D_{zI} = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 1 \quad \dots \quad 0]^T \tag{2.16}$$

↑

i_3

Để lập được phương trình Lagrange, ta còn cần tính các lực suy rộng. Gọi $P(t)$ là vectơ ngoại lực tác động vào kết cấu, $p_d(t)$ là vectơ ngoại lực tác động vào TMD. Công sinh ra trên một dịch chuyển khả dĩ là:

$$\begin{aligned}
\delta A &= P(t)^T \delta x + p_{dx}(t) \delta(x_I + x_d) + p_{dy}(t) \delta y_I + p_{dz}(t) \delta z_I \\
&= \left[P(t)^T + p_{dx}(t) D_{xI}^T + p_{dy}(t) D_{yI}^T + p_{dz}(t) D_{zI}^T \right] \delta x + p_{dx}(t) \delta x_d
\end{aligned} \tag{2.17}$$

Với $p_{dx}(t)$, $p_{dy}(t)$, $p_{dz}(t)$ là các thành phần theo 3 trục Ox , Oy , Oz của vectơ $p_d(t)$. Các lực suy rộng là:

$$Q_x(t) = P(t) + D_{xI} p_{dx}(t) + D_{yI} p_{dy}(t) + D_{zI} p_{dz}(t) \tag{2.18}$$

$$Q_{x_d}(t) = p_{dx}(t) \tag{2.19}$$

Sử dụng phương trình Lagrange

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial (T + T_d - V - V_d)}{\partial \dot{x}} \right] - \frac{\partial (T + T_d - V - V_d)}{\partial x} + \frac{\partial (F + F_d)}{\partial \dot{x}} = Q_x(t) \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial (T + T_d - V - V_d)}{\partial \dot{x}_d} \right] - \frac{\partial (T + T_d - V - V_d)}{\partial x_d} + \frac{\partial (F + F_d)}{\partial \dot{x}_d} = Q_{x_d}(t) \end{cases} \tag{2.20}$$

Ta thu được phương trình chuyển động dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} M + (D_{xl}D_{xl}^T + D_{yl}D_{yl}^T + D_{zl}D_{zl}^T)m_d & D_{xl}m_d \\ D_{xl}^Tm_d & m_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & c_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & k_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(t) + D_{xl}p_{dx}(t) + D_{yl}p_{dy}(t) + D_{zl}p_{dz}(t) \\ p_{dx}(t) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Nếu đặt

$$D_I = \begin{bmatrix} D_{xl} & D_{yl} & D_{zl} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

thì phương trình viết gọn thành:

$$\begin{bmatrix} M + D_I D_I^T m_d & D_{xl}m_d \\ D_{xl}^Tm_d & m_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & c_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & k_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(t) + D_I p_d(t) \\ p_{dx}(t) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Hệ n+1 phương trình này cho thấy: khi thêm thiết bị TMD vào hệ chính tương đương với việc thêm 1 phần tử có một bậc tự do và các ma trận khối lượng, độ cứng và độ cản được thêm các giá trị tương ứng. Một cách tương tự, ta có thể thêm vào các phần tử TMD khác trong trường hợp hệ chính được lắp đặt nhiều TMD.

+ *Phần tử damper*

Phần tử damper gồm 2 nút I, J dùng để mô tả các phần tử lò xo đàn hồi tuyến tính với hệ số cứng k, và cản nhớt tuyến tính với hệ số cản c, có phương dọc theo phần tử. Phương của các lực đàn hồi và lực cản nhớt được xác định theo toạ độ 2 nút trong không gian. Ma trận độ cứng và độ cản phần tử được tính như sau:

$$\bar{K}^e = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}; \bar{C}^e = c \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

c. Tích hợp xây dựng mô hình tổng thể của hệ kết cấu có gắn các bộ cản

Sau khi đã có các ma trận của phần tử, sử dụng nhóm các hàm để xây dựng các ma trận tổng thể: ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận cản và vectơ tải trọng. Sau khi xây dựng được các ma trận tổng thể, tiến hành giải bài toán dao động để xác định các nghiệm: dịch chuyển, gia tốc... của các điểm quan trọng cần quan tâm. Quá trình tích hợp gồm 2 phần:

Xoay các ma trận về hệ tọa độ tổng thể

$$K^e = G^T \bar{K}^e G, M^e = G^T \bar{M}^e G, C^e = G^T \bar{C}^e G, f^e = G^T \bar{f}^e \quad (2.25)$$

trong đó G là ma trận xoay chứa các cosin chỉ phương giữa 2 hệ tọa độ địa phương và tổng thể.

$$G = \begin{bmatrix} n_{x\bar{x}} & n_{y\bar{x}} & n_{z\bar{x}} \\ n_{x\bar{y}} & n_{y\bar{y}} & n_{z\bar{y}} \\ n_{x\bar{z}} & n_{y\bar{z}} & n_{z\bar{z}} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Ghép ma trận kết cấu tổng thể từ các ma trận phần tử

$$\begin{bmatrix} k_{ii}^e & k_{ij}^e \\ k_{ji}^e & k_{jj}^e \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ j \end{matrix} \xrightarrow{K^e} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & : & : \\ k_{21} & & : & : \\ .. & .. & k_{ii} + k_{ii}^e & k_{ij} + k_{ij}^e & .. & .. \\ .. & .. & k_{ji} + k_{ji}^e & k_{jj} + k_{jj}^e & .. & .. \\ : & : & : & : & : & : \\ : & : & : & : & : & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ j \end{matrix} \quad (2.27)$$

K

Ma trận độ cứng phần tử K^e được ghép vào ma trận độ cứng tổng thể K của toàn bộ kết cấu theo ma trận bậc tự do phần tử. Ví dụ trong (2.27) thì bậc tự do của phần tử là các vị trí thứ i và j trong ma trận độ cứng tổng thể.

d. Xây dựng phần mềm

Phần mềm được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB, với các mục tiêu sau:

- Trở thành trình ứng dụng chạy độc lập trên môi trường Windows.
- Giao diện thân thiện, tương tự như các phần mềm tính kết cấu thương mại (chẳng hạn SAP). Các dữ liệu đầu vào và đầu ra dễ hiểu, ngôn ngữ sử dụng là tiếng Việt.

Các công việc chính để xây dựng phần mềm bao gồm:

- Xây dựng hệ thống trang chủ bao gồm các menu, các nút và logo của chương trình.
- Tạo khả năng giao diện thân thiện của chương trình với người dùng qua các hệ thống menu và nút bấm. Người dùng có thể tạo ra mô hình bằng giao diện, ví dụ như các chức năng chọn phần tử, thay đổi thuộc tính phần tử, đặt tải trọng và điều kiện biên

.... Người dùng có thể xoay mô hình đến góc nhìn tùy ý, có thể phóng to thu nhỏ mô hình, chia lưới phần tử bằng giao diện.

- Xây dựng các hàm xuất nhập dữ liệu. Chương trình phải được thiết kế để người dùng có thể nhập dữ liệu từ file văn bản, xuất dữ liệu ra file văn bản. Người dùng cũng có thể xuất các kết quả tính ra file văn bản, ra file ảnh tĩnh, ảnh động dành cho mục đích trình diễn (chẳng hạn tích hợp vào các phần mềm Word, PowerPoint).

- Xây dựng các hàm phân tích kết cấu bao gồm:

+ Đối với mỗi loại phần tử xác định, tạo ra các ma trận phần tử như ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận cản, vectơ tải trọng phân bố ...

+ Chuyển đổi các số liệu tải trọng di động, tải trọng sóng, tải gia tốc về vectơ tải trọng tổng thể.

+ Tích hợp các ma trận phần tử bằng các thông số hình học để trở thành các ma trận tổng thể của kết cấu.

+ Giải hệ đại số tuyến tính để tìm đáp ứng tĩnh.

+ Giải hệ phương trình vi phân chuyển động để tính toán biến dạng, nội lực theo thời gian.

+ Giải bài toán trị riêng để tính các dạng dao động riêng.

+ Tính hàm truyền để xác định đặc trưng biên độ tần số của kết cấu

- Xây dựng các hàm hiển thị bao gồm

+ Vẽ biến dạng tĩnh.

+ Vẽ vận động của kết cấu theo thời gian.

+ Vẽ vận động của các dạng riêng.

+ Hiển thị nội lực.

+ Vẽ đồ thị theo thời gian và theo tần số của các đại lượng khảo sát.

- Tạo ra chương trình cài đặt và các file hướng dẫn đầy đủ.

Phần mềm phân tích dao động cho kết cấu có gắn thiết bị TTNL được xây dựng và đặt tên tiếng Anh là phần mềm SAVA (Structural Anti-Vibration Analysis). Toàn bộ phần mềm được cài đặt trên đĩa CD với tất cả chức năng của một phần mềm có thể khai thác độc lập.

Phần mềm SAVA có các chức năng chính sau:

- Có chức năng phân tích kết cấu có lắp đặt các thiết bị TTNL cản nhớt
- Có chức năng thiết kế các thiết bị TTNL
- Có thể phân tích các loại thiết bị TTNL, TMD.
- Có thể phân tích tải di động ... phục vụ cho các bài toán về cầu
- Giao diện thân thiện bằng tiếng Việt

Dưới đây là một số hình ảnh thể hiện của chương trình trong môi trường window.

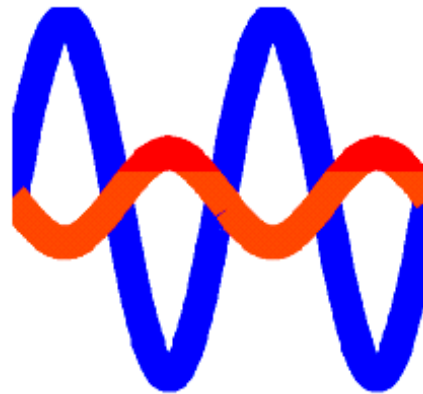
Biểu tượng của phần mềm SAVA

SAVA

Chương trình phân tích
chống dao động kết cấu

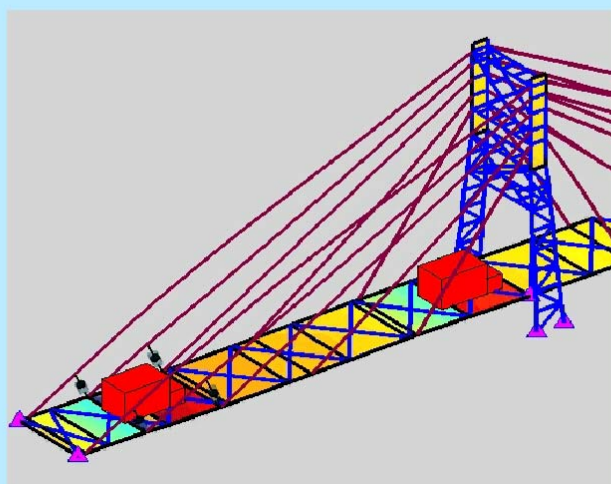
Tài trợ: Đề tài KC05.30,
Chương trình KC05, Bộ
Khoa học và Công nghệ
Việt Nam

Bản quyền: Phòng Cơ
học công trình, Viện Cơ
học, Viện Khoa học và
công nghệ Việt Nam



Hình ảnh mô phỏng dao động của cầu

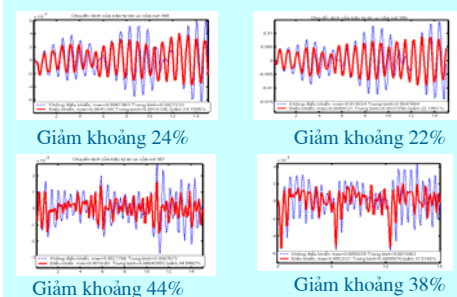
TẢI TRỌNG DI ĐỘNG



Dao động của cầu
dây văng, dây văng
có lắp damper, cầu
chịu tải di động, hiển
thị nội lực

Kết quả tính toán của phần mềm SAVA

Dao động ngang và dọc của 2 nút giữa trên dây ngoài cùng



e. Áp dụng phần mềm để nghiên cứu hiệu quả giảm dao động của bộ TTNL phục vụ đề tài

Những năm gần đây, việc xây dựng các cầu dây văng trở nên ngày càng phổ biến ở Việt Nam. Loại kết cấu cầu này có nhiều ưu điểm vượt trội như tính kinh tế, thẩm mỹ cao. Tuy nhiên, do đặc điểm của loại hình kết cấu này là khá mảnh nên nó rất nhạy cảm về mặt dao động do các tác động gây nên như tác động của gió mưa, tác động của hoạt tải xe cộ... Các dao động có hại này có thể là nguyên nhân trực tiếp làm phá hủy cầu hoặc làm các bộ phận công trình nhanh chóng bị xuống cấp, phải sớm thay thế. Dây cáp xiên là một trong những bộ phận chịu lực quan trọng trong kết cấu cầu dây văng. Thế nhưng, các nghiên cứu trước đây cho thấy các sợi cáp dùng trong cầu dây văng có độ tự cản thấp nên chúng dễ dàng bị kích thích dao động. Tỷ số cản nội tại của dây cáp thường chỉ vài phần nghìn. Cùng với đó, độ mảnh cao của dây cáp lại cao dẫn đến các kích động như tải trọng xe, mưa, gió... sẽ gây ra các dao động với biên độ lớn. Do vậy, vấn đề điều khiển dao động của cáp trở thành mối quan tâm lớn khi thiết kế hoặc bảo dưỡng sửa chữa nâng cao chất lượng cầu.

Trước khi áp dụng phần mềm SAVA cho việc phân tích dao động của cầu dây văng có lắp các thiết bị cản nhớt chúng tôi đã tính thử nghiệm cho nhiều bài toán phân tích kết cấu thông thường và so sánh kết quả tính theo phần mềm SAVA với các kết quả giải tích (nếu có) hoặc với lời giải số của phần mềm SAP. Các phép thử nghiệm đều cho thấy tính chính xác của phần mềm SAVA. Tiếp theo, để nghiên cứu hiệu quả giảm dao động bằng phần mềm, quá trình được tiến hành từng bước từ đơn giản đến phức tạp như sau:

- Kiểm nghiệm độ chính xác của chương trình khi tính dây cáp có lắp thiết bị TTNL cản nhớt trong trường hợp có lời giải giải tích.
- Khi đã khẳng định được tính chính xác của chương trình, chuyển sang tính dao động của 1 dây cáp trong các điều kiện thực tế, có lắp thiết bị TTNL. Từ đó khẳng định hiệu quả giảm dao động của thiết bị TTNL.
- Cuối cùng, tính toán dao động của dây cáp trên cầu Bến Cốc khi chịu tải động, trước và sau khi lắp thiết bị TTNL.

Kiểm nghiệm độ chính xác của chương trình khi tính dây cáp

Các dạng riêng của dây cáp có gắn thiết bị cản nhót tuyến tính trong trường hợp nằm ngang và 2 đầu tựa đơn thu được bằng giải tích. Xét các số liệu từ một dây cáp thực tế:

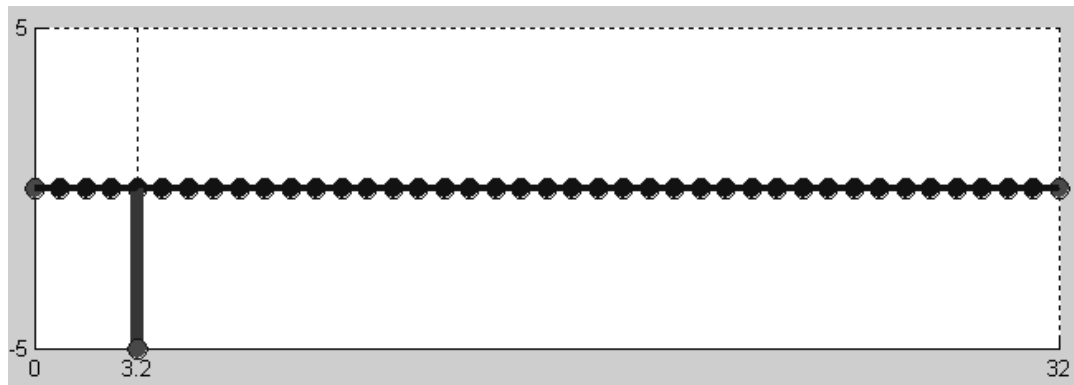
$$L=32\text{m}, l=L/10,$$

$$H=107800\text{N},$$

$$m=16.44\text{kg/m},$$

$$c=2500\text{Ns/m}.$$

Dây cáp có lắp thiết bị cản nhót được mô tả trong chương trình SAVA có dạng như trong hình vẽ dưới đây:



Hình 2.6: Dây cáp có gắn thiết bị cản nhót tuyến tính trong chương trình

Dây cáp được chia thành 40 phần tử. Kết quả với 9 trị riêng đầu tiên được cho trên Bảng 1.

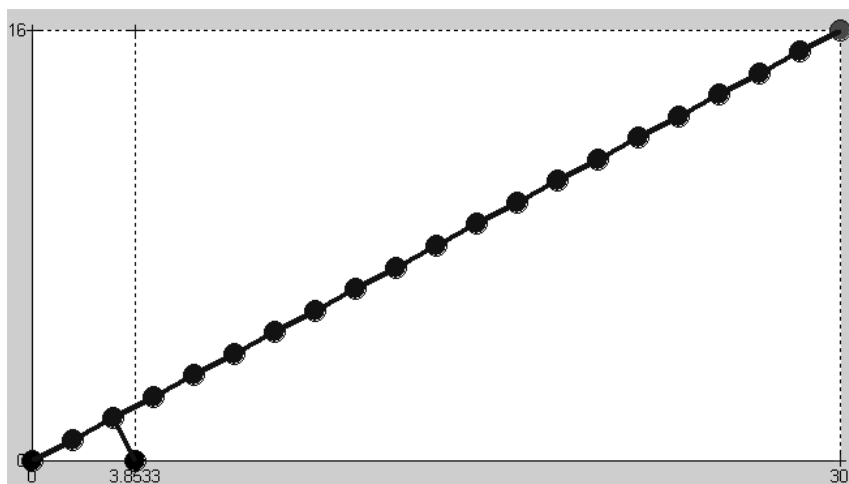
Bảng 1: So sánh các trị riêng giữa tính bằng lý thuyết và chương trình

Trị riêng	Lý thuyết	Chương trình	Không điều khiển
1	$-0.3835 + 8.1298i$	$-0.3862 + 8.1274i$	$7.9498i$
2	$-1.0103 + 16.8307i$	$-1.0323 + 16.8304i$	$15.8997i$
3	$-1.4748 + 25.8855i$	$-1.5201 + 25.9172i$	$23.8495i$
4	$-1.7187 + 35.1091i$	$-1.7488 + 35.1968i$	$31.7994i$
5	$-1.7187 + 44.3893i$	$-1.6856 + 44.4980i$	$39.7492i$
6	$-34.5868 + 39.7497i$	$-28.3836 + 34.7839i$	$47.6990i$
7	$-1.4748 + 53.6129i$	$-1.3919 + 53.6806i$	$55.6489i$
8	$-1.0103 + 62.6676i$	$-0.9341 + 62.6749i$	$63.5988i$
9	$-0.3835 + 71.3686i$	$-0.3587 + 71.3514i$	$71.5487i$

Qua bảng so sánh ta thấy chương trình có thể đưa ra được trị riêng với độ chính xác rất tốt so với kết quả giải tích.

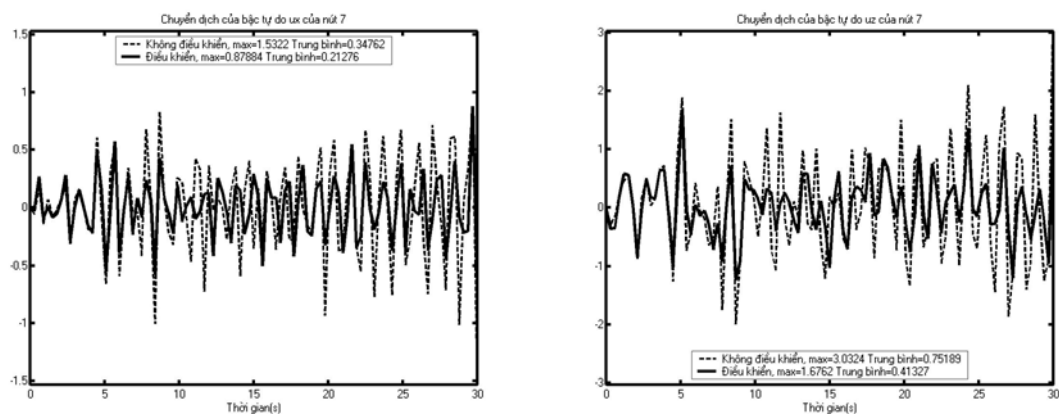
Tính toán dao động của dây cáp nghiêng

Mục này mô phỏng dao động của một dây cáp trên cầu dây văng, đặt xiên và có một đầu chịu tải động học của mặt cầu mô phỏng dao động theo phương thẳng đứng của thân cầu khi cầu chịu tải do xe chạy qua. Trường hợp này rất khó giải bằng phương pháp giải tích và hiện nay chưa thấy công bố các kết quả cụ thể.

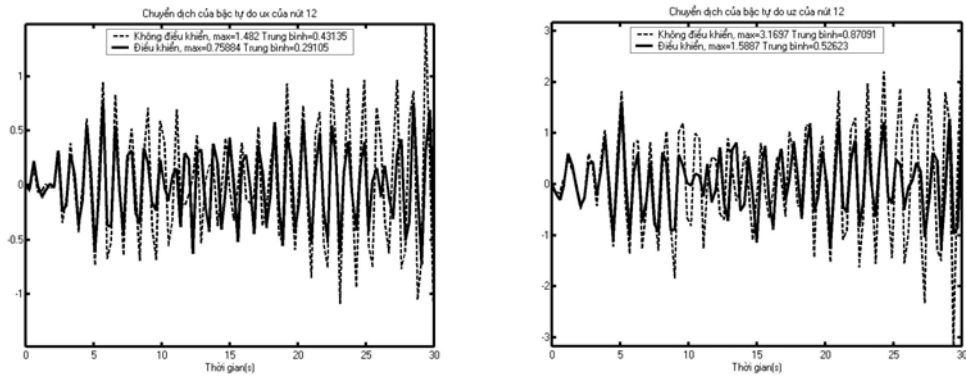


Hình 2.7: Dây cáp xiên có gắn thiết bị cản nhót tuyến tính trong chương trình

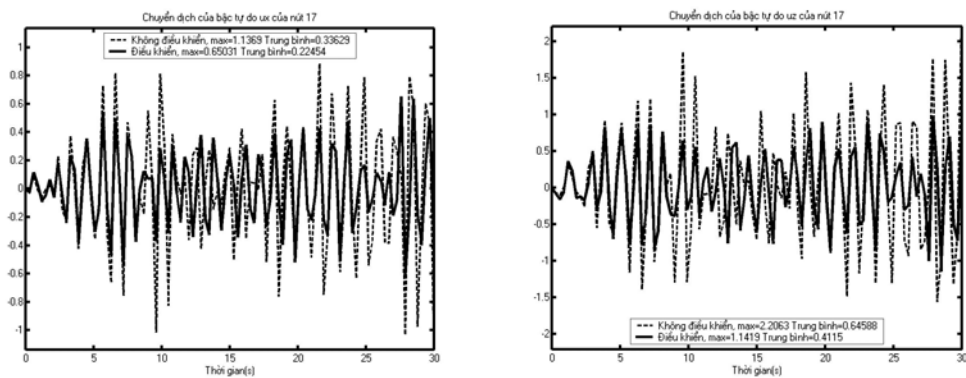
Dây cáp dài 34m, treo ở độ cao 16m, được chia thành 20 phần. Điểm dưới của dây cáp nối với mặt cầu. Cáp có mô đun đàn hồi $1.95e+11 \text{ N/m}^2$, diện tích mặt cắt $1.7e-3 \text{ m}^2$, lực căng cáp 107800 N, khối lượng trên một đơn vị độ dài 16.44 kg/m. Thiết bị cản nhót tuyến tính có độ cản 4kNs/m đặt ở vị trí 1/10 của chiều dài dây và vuông góc với dây, một đầu của thiết bị được nối với mặt cầu. Giả sử mặt cầu chuyển động theo phương thẳng đứng với quy luật ngẫu nhiên. Dao động theo 2 phương ngang và thẳng đứng của các điểm tại các vị trí khác nhau trên cáp được cho trên các hình dưới đây:



Hình 2.8: Chuyển dịch của vị trí 1/4 chiều dài dây tính từ dưới lên



Hình 2.9: Chuyển dịch của vị trí 1/2 chiều dài dây tính từ dưới lên



Hình 2.10: Chuyển dịch của vị trí 3/4 chiều dài dây tính từ dưới lên

(trục ngang tính theo giây, trục đứng theo cm)

Các kết quả thu được phù hợp vớirys nghĩa thực tế. Các đường mờ là đồ thị của cáp khi không gắn thiết bị cản nhót, đường đậm là đồ thị tương ứng khi có gắn thiết bị. Ta thấy việc lắp đặt một thiết bị cản nhót thích hợp ở đầu cáp có thể giảm được khoảng 50% giá trị cực đại của dao động cáp.

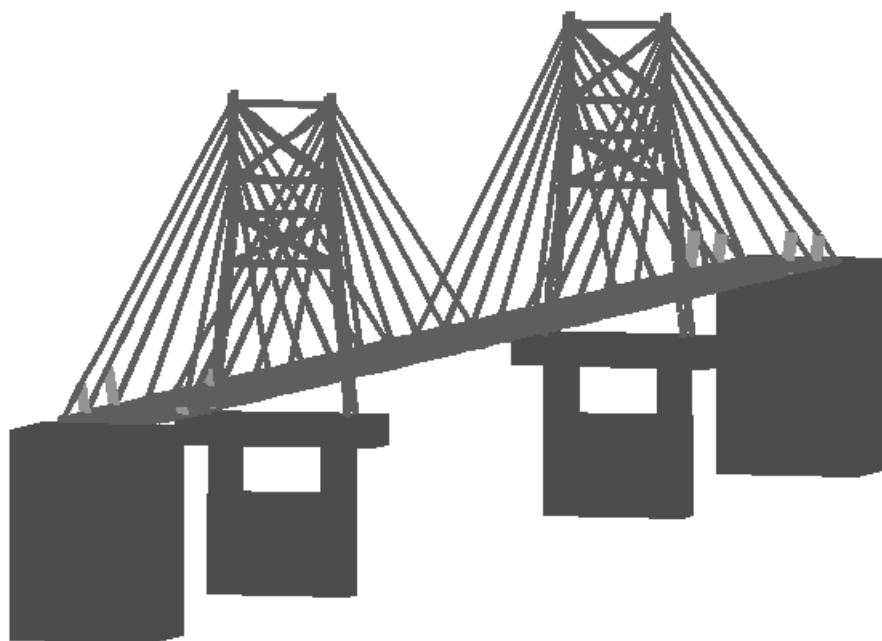
Phân tích dao động của dây cáp trên cầu Bến Cốc chịu tải trọng di động

Cầu Bến Cốc thuộc huyện Chương Mỹ tỉnh Hà Tây là một cầu nhịp trung bình, mặt cắt ngang cầu hẹp, kích thước khá phổ biến ở Việt Nam.



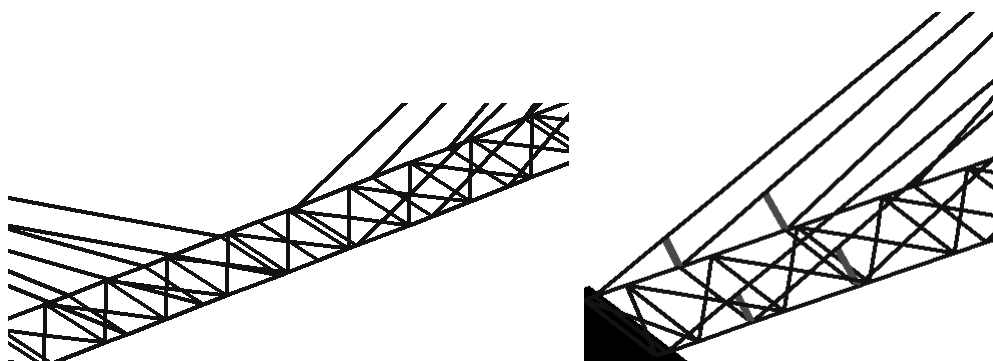
Hình 2.11: Cầu dây văng Bến Cốc thuộc huyện Chương Mỹ Hà Tây

Sơ đồ cầu 30.5+59+30.5m. Khoảng cách tim hai hệ dây văng là 5.06m. Chiều rộng đường xe chạy là 4m. Cầu được mô tả bằng phần tử hữu hạn như trên Hình 2.12.

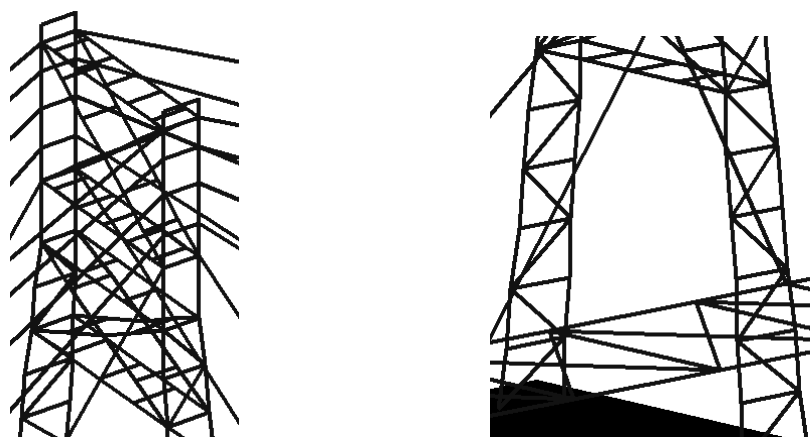


Hình 2.12: Mô hình cầu Bến Cốc trong chương trình SAVA

Trong đó mặt cầu được mô tả bởi phần tử tấm chữ nhật bê tông cốt thép đặt trên dầm chủ và hệ dầm ngang cùng liên kết chéo. Phần đầu tháp cầu gồm hệ thanh và 2 tấm thép. Phần thân tháp cầu gồm hệ thanh được ngàm chặt ở chân. Dây văng gồm 2 mặt phẳng dây, mỗi mặt phẳng có 10 dây văng. Sử dụng hai loại bó cáp: loại 12 tao (dùng cho 2 dây văng nối từ đỉnh tháp đến chân mố) và loại 7 tao (các dây văng còn lại), đường kính mỗi tao là 13,4 mm, khối lượng riêng 1.37kg/m. Các dây văng đầu cầu được lắp thiết bị cản nhót tuyến tính có độ cản là 3.5kNs/m và 2.5kNs/m tương ứng với dây ngoài cùng và dây bên trong.



Hình 2.13: Mô hình mặt cầu và thiết bị TTNl lắp vào dây văng



Hình 2.14: Mô hình đầu và thân tháp cầu

Các thông số kỹ thuật của cầu được cho trong các Bảng 2-4.

Bảng 2: Các loại phần tử cấu tạo mặt cầu

Dầm chủ	Ghép 2 thanh thép hình I 500×200
Dầm ngang	Thép hình I 500×200
Giằng chéo	L 100×100×10
Mặt cầu	Bê tông cốt thép dày 22cm

Bảng 3: Các loại phần tử cấu tạo đầu tháp cầu

Các thanh dọc	Thép hình I 500×300
Tấm bao	Thép bản dày 12mm
Hệ liên kết ngang và chéo	Gồm các loại thép góc và thép chữ U, chi tiết nêu trong các bản vẽ

Bảng 4: Các loại phần tử cấu tạo thân tháp cầu

Các thanh dọc	Thép hình I 500×300
Liên kết ngang	L 75×75×8
Liên kết chéo	L 100×100×10

Tổng cộng cầu được mô tả với 489 nút, 830 đường và 56 mặt. Cầu chịu một số tải trọng di động khối lượng 13 tấn với vận tốc khoảng 7m/s, chạy cách nhau 5s. Tổng cộng có 8 dây cáp được lắp thiết bị cản nhót tuyến tính. Mỗi dây được chia thành 9 nút, mỗi nút có 2 chuyển vị cần xét là chuyển vị theo phương ngang và theo phương thẳng đứng. Giá trị được lấy ra là trung bình trị tuyệt đối của chuyển dịch trong 15s. Kết quả so sánh cho trên Bảng 5, 6. Vì kết quả trên dao động trên nhiều dây là tương

tự nhau nên trong các bảng dưới đây trình bày kết quả tính của 2 dây cáp trên một mặt phẳng dây và ở cùng một phía của đầu cầu.

Bảng 5: Giá trị chuyển dịch trung bình của các nút trên dây ngoài cùng

Nút	Chuyển dịch ngang trung bình			Chuyển dịch đứng trung bình		
	Không lắp TTNL (mm)	Có lắp TTNL (mm)	Hiệu quả giảm dao động(%)	Không lắp TTNL (mm)	Có lắp TTNL (mm)	Hiệu quả giảm (%)
1	0.42	0.28	34	1.02	0.73	28
2	0.85	0.55	35	1.97	1.35	31
3	1.46	0.99	32	3.34	2.35	30
4	1.90	1.35	29	4.31	3.15	27
5	2.12	1.57	26	4.80	3.64	24
6	2.12	1.61	24	4.79	3.73	22
7	1.82	1.37	25	4.00	3.1	23
8	1.40	1.10	21	2.85	2.20	23
9	0.83	0.72	14	1.47	1.17	20

Bảng 6: Giá trị chuyển dịch trung bình của các nút thuộc dây bên trong

Nút	Chuyển dịch ngang trung bình			Chuyển dịch đứng trung bình		
	Không lắp TTNL (mm)	Có lắp TTNL (mm)	Hiệu quả giảm dao động(%)	Không lắp TTNL (mm)	Có lắp TTNL (mm)	Hiệu quả giảm (%)
1	0.18	0.08	54	1.03	0.99	3
2	0.35	0.15	57	1.14	1.04	8
3	0.52	0.21	58	1.31	1.02	22
4	0.65	0.31	53	1.50	1.05	29
5	0.73	0.37	50	1.58	1.02	35
6	0.77	0.43	44	1.60	1.00	38
7	0.74	0.46	38	1.45	0.93	36
8	0.69	0.51	27	1.15	0.80	31
9	0.59	0.47	20	0.60	0.42	30

Qua các bảng trên ta nhận thấy các đáp ứng của dây cáp tại các nút đều giảm trung bình khoảng 40% khi có lắp thiết bị giảm chấn. Điều này cho thấy khả năng lắp đặt các thiết bị tuyến tính cản nhớt để giảm dao động cho dây cáp trên các cầu dây văng.

f. Phân tích, đánh giá ưu nhược điểm của phần mềm sau khi áp dụng tính toán

Qua tính toán, có thể thấy phần mềm SAVA được xây dựng bởi đề tài có những tính năng mà các phần mềm tính toán kết cấu thương mại trên thị trường (chẳng hạn SAP) không có, cụ thể là :

- Có thể tính được phần tử cáp chịu uốn. Như vậy dao động của cầu có thể được xác định ở trong giới hạn an toàn trong điều kiện dao động và độ bền của dây cáp được đánh giá đầy đủ hơn.

- Có thể giải được bài toán giá trị riêng của hệ có lắp các thiết bị TTNL, từ đó thiết kế được thiết bị dựa vào các tiêu chuẩn trị riêng. Trong thực tế, SAP không giải bài toán trị riêng này mà chỉ tính giá trị riêng của kết cấu không cản, sau đó thay cản của thiết bị TTNL vào và bỏ qua cản liên kết giữa các dạng riêng, điều này thường đánh giá quá cản và không mô tả chính xác bài toán.

- Có thể tính được tải di động. Trong thực tế, SAP có tính tải di động nhưng không đưa ra đáp ứng của hệ theo thời gian mà đưa ra đường ảnh hưởng, tức là đáp ứng tĩnh của kết cấu tại từng vị trí của tải di động.

- Luôn cho phép so sánh đánh giá kết cấu trước và sau khi lắp thiết bị TTNL trong cùng một điều kiện đặt tải.

- Có khả năng hiển thị đầy đủ dao động kết cấu cũng như sự di chuyển của tải di động. Có thể dễ dàng thay đổi góc nhìn, độ phóng đại để xem xét dao động của từng chi tiết kết cấu.

- Đồ thị dao động được vẽ ra có thể dễ dàng tương tác với các phần mềm soạn thảo (chẳng hạn Word) giúp người sử dụng dễ dàng cắt dán để trình bày trong các văn bản. Trong thực tế, SAP không có được sự tương tác này.

Như vậy, phần mềm SAVA có thể phục vụ cho việc phân tích động lực cầu dây văng không có và có lắp thiết bị tiêu tán năng lượng. Đặc biệt có thể áp dụng để tính toán lựa chọn các đặc trưng lực của thiết bị giảm chấn thích hợp cho từng cầu dây văng hoặc cầu dây văng.

Mặt khác cũng cần nhận thấy rằng đây là phiên bản đầu tiên của Phần mềm SAVA được xây dựng chủ yếu cho đối tượng là cầu được đỡ bằng hệ thống cáp. Phần mềm này hoàn toàn có thể phát triển để có thể tính toán chuyên dụng cho nhiều các đối tượng kết cấu phức tạp khác chịu các loại tải trọng đặc thù và được lắp các thiết bị tiêu tán năng lượng khác nhau. Chẳng hạn phần mềm có thể phát triển theo các hướng:

** Cho các loại công trình khác nhau:*

- Phục vụ việc chống dao động cho công trình xây dựng như nhà cao tầng, tháp vô tuyến, cột điện cao thế chịu tải trọng gió giật, động đất.
- Phục vụ việc chống dao động cho công trình biển chịu tải trọng sóng, gió bão.
- Phục vụ việc chống dao động cho phương tiện giao thông như tàu hỏa, tàu thủy, tàu điện ngầm.
- Phục vụ việc chống dao động và va đập cho vũ khí khí tài quân sự.

** Cho các loại thiết bị tiêu tán năng lượng khác nhau:*

- Thiết bị dạng TMD, TLD
- Thiết bị dạng masát kim loại
- Thiết bị dạng đàn nhót
- Thiết bị dạng con lắc – lò xo
- Thiết bị TTNL có điều khiển.

Bản thân phần mềm SAVA cũng cần được phổ biến cho các cơ quan thiết kế và nghiên cứu để áp dụng thử nghiệm cho nhiều loại cầu. Qua đó rút ra các nhược điểm để cải tiến cho tốt hơn.

g. Tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm SAVA

Tài liệu bao gồm các hướng dẫn chi tiết về cài đặt, các menu chức năng và các hướng dẫn sử dụng phần mềm chống dao động SAVA (Structural Anti-Vibration Analysis) dài hơn 20 trang. Tài liệu này được cài đặt trong file: Help nằm trong đĩa CD chứa phần mềm SAVA.

h. Viết phần mềm đánh giá hệ số cản

Đánh giá sự suy giảm theo thời gian của số liệu

Kỹ thuật đo đặc dao động cơ học ngày nay đang trở thành một bộ phận quan trọng trong việc nâng cao chất lượng của các thiết bị cơ khí và công trình. Các tín hiệu đo dao động cơ học có thể trợ giúp cho nhiều ứng dụng kỹ thuật như: Chẩn đoán hư hỏng

và giám sát tình trạng thiết bị, cân bằng máy, kiểm tra độ chính xác của các mô hình và nhận dạng tham số của hệ dao động.

Để thu được các thông tin cần thiết và chính xác từ tín hiệu dao động, ta phải phân tích và xử lý tín hiệu. Kỹ thuật xử lý tín hiệu số hiện đã có một bước tiến vượt bậc cùng với sự phát triển của kỹ thuật đo đặc dao động bằng tín hiệu điện. Một loạt các phương pháp phân tích tín hiệu trong miền thời gian và trong miền tần số trên cơ sở phép biến đổi Fourier đã được xây dựng và hoàn thiện: Lọc số, phổ tần số, Cepstrum, phổ đường bao [19]. Các phương pháp này hiện đang được ứng dụng rất rộng rãi và được tích hợp trong nhiều phần mềm phân tích tín hiệu chuyên dụng.

Trong những năm gần đây, phương pháp xử lý tín hiệu trên cơ sở phép biến đổi Wavelet (Wavelet Transform) đã được xây dựng về mặt lý thuyết và hiện đang bắt đầu được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực [14]. ưu điểm cơ bản của phương pháp này là khả năng biểu diễn một tín hiệu đồng thời trong miền thời gian – tần số và cung cấp nhiều thông tin hơn về cấu trúc tần số, các thành phần có trong tín hiệu. Phép biến đổi Wavelet có thể khắc phục được các nhược điểm của phép biến đổi Fourier khi phân tích các tín hiệu không dừng, tần số thay đổi, gián đoạn hoặc ngắn ngủi thường gặp trong dao động của máy [18-19].

Bài toán nhận dạng tham số của một hệ dao động đang nhận được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. Hiện nay, phương pháp cơ bản để nhận dạng độ cản của hệ nhiều tần số riêng là phân tích dạng riêng thực nghiệm (modal testing). Phương pháp này đòi hỏi các thiết bị đo, thiết bị tạo lực kích động và phần mềm chuyên dụng. Gần đây, một số công trình nghiên cứu đã áp dụng phép biến đổi Wavelet để nhận dạng trực tiếp độ cản Lehr từ tín hiệu dao động tự do thông thường với độ chính xác cao [15, [18].

Nội dung của nghiên cứu này đề cập tới cơ sở toán học và các đặc điểm của phép biến đổi Wavelet và ứng dụng kỹ thuật của phương pháp này trong việc nhận dạng và đánh giá độ cản Lehr từ tín hiệu dao động tự do đo được của kết cấu và máy. Một chương trình tính trên cơ sở phần mềm tính toán đa năng MATLAB đã được thiết lập để phục vụ nghiên cứu và ứng dụng cho các kỹ sư.

Xây dựng công thức tính hệ số cản

Nhận dạng tham số cản từ tín hiệu dao động bằng phép biến đổi Wavelet

Xét một tín hiệu $x(t)$ họ hình sin có dạng

$$x(t) = a(t) \cos(\alpha_0 t + \beta) = a(t) \cos \varphi(t) \quad (2.28)$$

trong đó $a(t)$ là đường bao của $x(t)$ và góc pha $\varphi(t) = \alpha_0 t + \beta$.

Biến đổi Wavelet của tín hiệu này có thể biểu diễn dưới dạng giải tích

$$W_x(\tau, s) = \frac{\sqrt{s}}{2} a(\tau) e^{i\varphi(\tau)} \hat{g}(\eta_0 - s\alpha_0) + \varepsilon(\tau, s) \quad (2.29)$$

trong đó $\hat{g}(\eta_0 - s\alpha_0)$ là biến đổi Fourier của $g(t)$ tại tần số $\omega = \eta_0 - s\alpha_0$ và $\varepsilon(\tau, s)$ là sai số bé. Nếu sự thay đổi của biên độ $a(t)$ là chậm so với chu kỳ $2\pi/\alpha_0$, khi đó số hạng $\varepsilon(\tau, s)$ có thể bỏ qua [13]. Trong trường hợp này, biến đổi Wavelet của $x(t)$ có thể biểu diễn dưới dạng

$$W_x(\tau, \omega) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\eta_0}{\omega}} a(\tau) e^{i\varphi(\tau)} \hat{g}\left(\eta_0 - \frac{\eta_0 \alpha_0}{\omega}\right) \quad (2.30)$$

Giá trị của hệ số Wavelet $|W_x(\tau, s)|$ có dạng

$$|W_x(\tau, \omega)| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\eta_0}{\omega}} a(\tau) \left| \hat{g}\left(\eta_0 - \frac{\eta_0 \alpha_0}{\omega}\right) \right| \quad (2.31)$$

với

$$g(t) = \pi^{-1/4} e^{-t^2/2} \quad (2.32)$$

$$\hat{g}(\omega) = \pi^{-1/4} e^{-\omega^2/2} \quad (2.33)$$

Do $|\hat{g}(\omega)|$ cực đại tại $\omega = 0$, hệ thức (2.31) cho thấy $|W_x(\tau, \omega)|$ cực đại tại $\omega = \alpha_0$. Nếu $\omega = 0$, hệ thức (2.33) dẫn đến $\hat{g}(0) = \pi^{-1/4}$. Đường bao $a(\tau)$ tại tần số $\omega = \alpha_0$ có dạng

$$a(\tau) = 2\pi^{1/4} \sqrt{\alpha_0/\eta_0} |W_x(\tau, \alpha_0)| = K \cdot |W_x(\tau, \alpha_0)| \quad (2.34)$$

trong đó K là một hằng số dương $K = 2\pi^{1/4} \sqrt{\alpha_0/\eta_0}$

Hệ thức (2.34) đã chứng tỏ rằng $|W_x(\tau, \omega)|$ tại $\omega = \alpha_0$ (wavelet envelope [15]) đồng dạng với đường bao tín hiệu $x(t)$ biểu diễn theo công thức (2.28).

Đối với đáp hệ cơ học ta xét phương trình vi phân dao động tự do của một hệ dao động tuyến tính nhiều bậc tự do có dạng

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\mathbf{q} = \mathbf{0} \quad (2.35)$$

Sử dụng phương pháp ma trận dạng riêng [19], hệ phương trình (2.35) dẫn đến hệ

$$p_i''(t) + 2\zeta_i \omega_{0i} p_i'(t) + \omega_{0i}^2 p_i(t) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.36)$$

trong đó $p_i(t)$ biểu thị tọa độ chính thứ i , ω_{0i} là tần số riêng không cản, ζ_i là độ cản Lehr ứng với dạng dao động riêng thứ i (giả thiết trong trường hợp cản tỷ lệ cối vận tốc).

Nghiệm của hệ (2.36) ứng với dạng dao động riêng thứ i

$$x_i(t) = A_i e^{-\zeta_i \omega_{0i} t} \sin(\omega_{di} t + \phi_i) \quad (2.37)$$

trong đó A_i là hằng số và ω_{di} là tần số riêng có cản. Đường bao $a_i(t) = A_i e^{-\zeta_i \omega_{0i} t}$ sẽ là cơ sở để nhận dạng độ cản. Theo mô hình tín hiệu (2.37), độ giảm Loga δ_i có dạng

$$\delta_i = \frac{1}{m} \ln \frac{a_i(t)}{a_i(t + mT_i)} \quad (2.38)$$

trong đó m là một số tự nhiên tùy ý và $T_i = 2\pi / \omega_{di}$. áp dụng các hệ thức (2.34) và (2.38) đại lượng δ_i có thể được xác định từ các hệ số Wavelet

$$\delta_i = \frac{1}{m} \ln \frac{|W_{xi}(t, \omega_{di})|}{|W_{xi}(t + mT_i, \omega_{di})|} \quad (2.39)$$

Cuối cùng, độ cản Lehr ứng với dạng dao động riêng thứ i được tính toán từ công thức:

$$\zeta_i = \frac{\delta_i}{\sqrt{4\pi^2 + \delta_i^2}}. \quad (2.40)$$

Viết phần mềm tính toán độ cản và thí dụ áp dụng

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày một chương trình tính với tên DAMP đã được xây dựng. Đặc điểm quan trọng của chương trình này là giao diện đồ họa dễ sử dụng, khả năng tính toán độ cản từ tín hiệu đo với độ chính xác cao. Chương trình này có kích thước nhỏ (trong một đĩa mềm) và được lập trình như một hộp công cụ (toolbox) của MATLAB.

Hướng dẫn sử dụng phần mềm đánh giá hệ số cản

MATLAB (tên viết tắt của từ MATrix LABoratory) là một hệ chương trình hàng đầu trong lĩnh vực toán số. MATLAB là sản phẩm chính của hãng Mathworks. Tên của phần mềm MATLAB đã thể hiện định hướng chính của hệ chương trình là các phép tính trên ma trận. Phiên bản gần đây nhất là MATLAB 7.0 (năm 2005). MATLAB có tính năng đồ họa tiên tiến, đa dạng và dễ sử dụng. Hệ thống các hàm toán học của MATLAB được mở rộng thông qua các thư viện trợ giúp (các bộ công cụ - Toolbox).

Bên cạnh khả năng nhập lệnh trực tiếp trong môi trường MATLAB, người sử dụng có thể soạn thảo và lưu cất nhiều câu lệnh của MATLAB dưới dạng tệp văn bản với ký tự ASCII (gọi là scrift file).

Phần mềm DAMP được viết trên môi trường MATLAB. DAMP cho phép ứng dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu số với đặc điểm là dễ sử dụng với hệ thống Menu và đồ họa tiện lợi. Tín hiệu đo được lưu trữ trong ổ cứng sẽ được đọc trực tiếp bởi chương trình và được phân tích (Phân tích phổ tần số, lọc số) và nhận dạng độ cản.

Kết cấu của chương trình

Bảng 7 mô tả kết cấu của hệ chương trình DAMP đã được xây dựng. Danh sách các file (scrift file) của chương trình được liệt kê tại phụ lục.

Nhập dữ liệu	Nhận dạng cản	Phân tích tín hiệu	Trợ giúp
Dữ liệu dạng ASCII	Tín hiệu mẫu (test signal)	Phân tích tần số (Frequency analysis)	Danh sách File
Dữ liệu dạng Binary	Nhận dạng cản (Damping identification)	Lọc số (Digital Filtering)	
Dữ liệu âm thanh			

Bảng 7: Kết cấu của chương trình

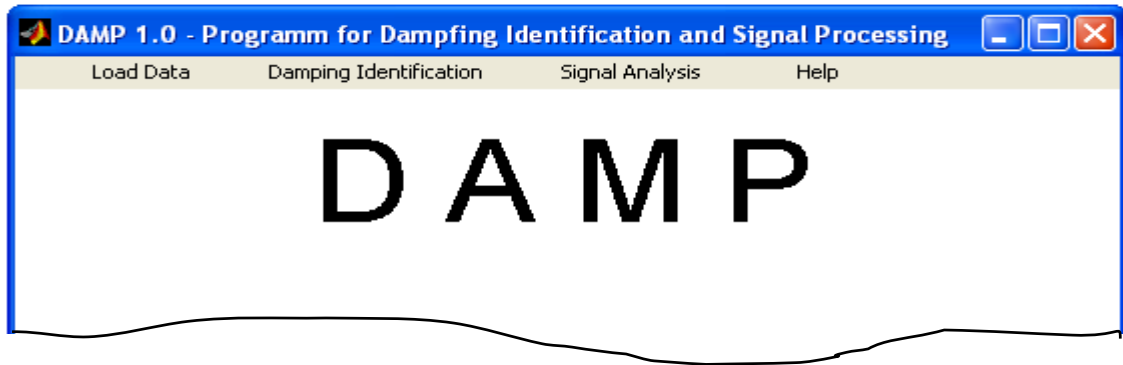
Hướng dẫn sử dụng chương trình

Cài đặt chương trình DAMP

Chương trình này có thể chạy trên môi trường MATLAB (Version 5.0 đến 7.0). Việc cài đặt chương trình DAMP vào máy tính cá nhân hoàn toàn đơn giản theo các bước sau đây:

1. Sao chép từ đĩa mềm cài đặt toàn bộ thư mục **DamId** vào ổ cứng tại thư mục:
...\Matlab\Toolbox (ví dụ: **C:\Matlab\Toolbox**).
2. Sao chép File **startup.m** trong thư mục **DamId** vào thư mục
...\Matlab\Toolbox\local
3. Khởi động hệ chương trình MATLAB và khởi động chương trình DAMP.

Khởi động chương trình



Hình 2.15: Cửa sổ chính của chương trình DAMP

Tại cửa sổ chính của hệ chương trình MATLAB ta gõ tên lệnh: **damp** ↵ tại dấu nhắc lệnh. Chương trình DAMP sẽ được khởi động và xuất hiện cửa sổ chính như hình 2.15. Các menu chính của chương trình bao gồm:

Load Data, Damping Identification, Signal Analysis và Help.

Nhập dữ liệu (Load Data)

a) Nhập dữ liệu dạng ASCII

Việc nhập dữ liệu có định dạng ASCII được tiến hành theo các bước sau:

1. Chọn trên cửa sổ chính Menu: **Load Data / Load ASCII-file**, một cửa sổ hiện ra như hình 2.16.
2. Trong các mục trên cửa sổ, ta nhập các giá trị: Tần số lấy mẫu (Sampling Frequency: Fs) , thời điểm đầu (Begin) của tín hiệu và số điểm lấy mẫu (Signal length).
3. Bấm vào nút **File name** để chọn tên của file chứa tín hiệu đo. Nếu file dữ liệu có chứa nhiều kênh đo (ma trận dữ liệu có nhiều cột), ta phải khai báo số kênh đo và dữ liệu thuộc kênh nào sẽ được nhập
4. Chọn **Loading original signal** nếu không cần tiền xử lý (lọc số), chọn **Pre-processing** nếu muốn thực hiện lọc (thông thấp, thông cao, thông dải) trước khi tiến hành phân tích theo các phương pháp khác.

5. Bấm vào nút **Load** để nhập dữ liệu, bấm **Close** để đóng cửa sổ nhập dữ liệu.

Sampling frequency [Hz] 5000

Time record [s]: Begin 0.00 End 0.2046

Signal length 1024

File name Decaying signal: Number of columns 1

Selected column 1

☐ Loading original Signal

☒ Pre-processing

☐ Lowpass filtering/Resampling

☒ Highpass filtering

Frequency band [Hz] Fp1: Fp2: 500

2

1

0

-1

-2

0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1 0.12 0.14 0.16 0.18 0.2

Load New Plot Close

Hình 2.16

b) Nhập dữ liệu dạng Binary

Việc nhập dữ liệu có định dạng Binary được tiến hành theo các bước sau:

1. Chọn trên cửa sổ chính Menu: **Load Data / Load Binary-file**, một cửa sổ nhập dữ liệu hiện ra .
2. Trong các mục trên cửa sổ, ta nhập các giá trị: Tần số lấy mẫu (Sampling Frequency: Fs), thời điểm đầu (Begin) của tín hiệu và số điểm lấy mẫu (Signal length).
3. Bấm vào nút **File name** để chọn tên của file chứa tín hiệu đo. Nếu file dữ liệu có chứa nhiều kênh đo (ma trận dữ liệu có nhiều cột), ta phải khai báo số kênh đo và dữ liệu thuộc kênh nào sẽ được nhập và hệ số độ nhảy của kênh đó.

4. Chọn **Loading original signal** nếu không cần tiền xử lý (lọc số), chọn **Pre-processing** nếu muốn thực hiện lọc (thông thấp, thông cao, thông dải) trước khi tiến hành phân tích theo các phương pháp khác.
5. Bấm vào nút **Load** để nhập dữ liệu, bấm **Close** để đóng cửa sổ nhập dữ liệu.

Phân tích tín hiệu (Signal Analysis)

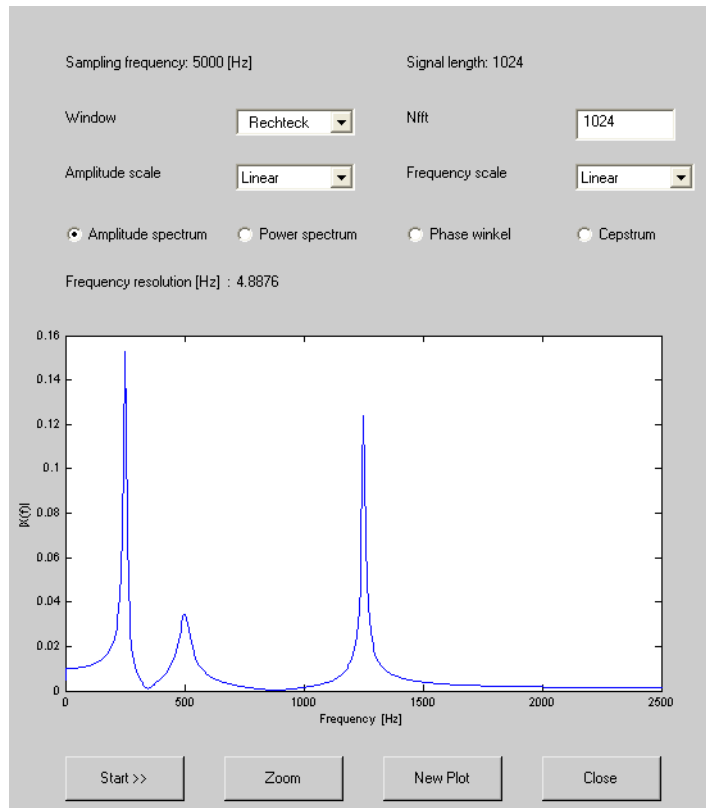
a) Lọc số (Digital Filtering)

Sau khi nhập dữ liệu, quá trình lọc số tiến hành theo các bước sau:

1. Chọn trên cửa sổ chính Menu: **Signal Analysis / Digital Filtering**, một cửa sổ hiện ra.
2. Chọn dạng lọc số cần sử dụng (lọc thông thấp, lọc thông cao, lọc thông dải) và khai báo khoảng tần số cần lọc.
3. Bấm vào nút **Start** để thực hiện quá trình lọc số, bấm **Close** để đóng cửa sổ.

b) Phân tích tần số (Frequency Analysis)

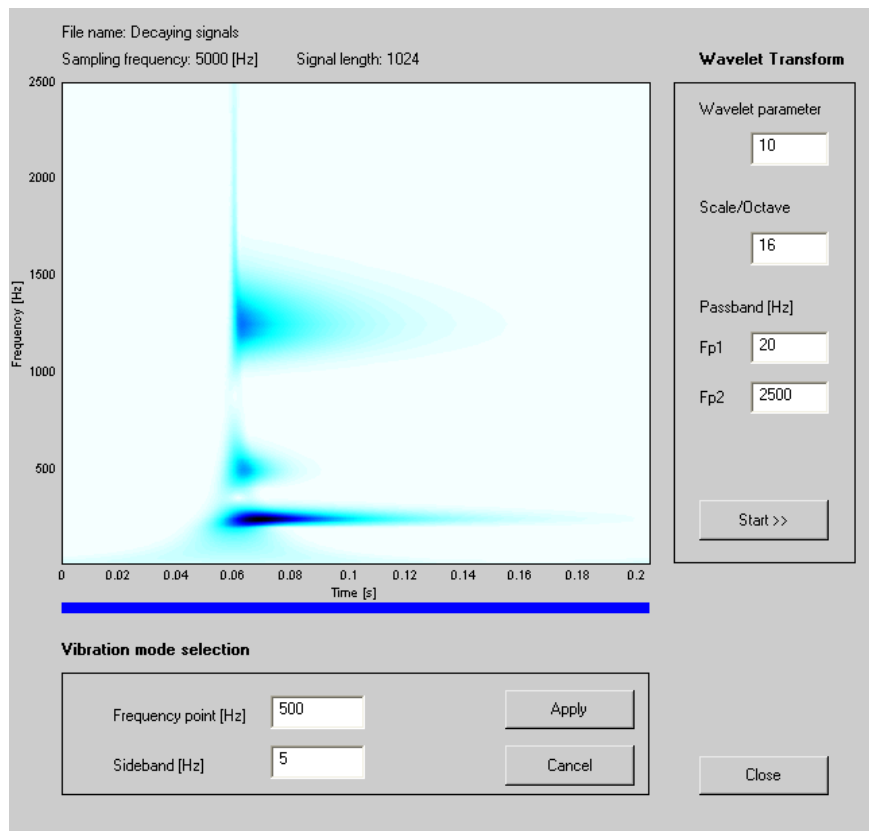
1. Chọn trên cửa sổ chính Menu: **Signal Analysis / Frequency Analysis**, một cửa sổ hiện ra như hình 2.17.
2. Trong các mục trên cửa sổ, ta chọn dạng hàm cửa sổ (Window) để phân tích phổ.
3. Khai báo số điểm tần số cho việc tính toán phổ tần số (Nfft).
4. Chọn cách biểu diễn các trục biên độ và trục tần số (tuyến tính, Lôgarit)
5. Chọn dạng của phổ (Phổ biên độ, phổ công suất, phổ pha, Cepstrum)
6. Bấm vào nút **Start** để tính toán và hiển thị phổ tần số, bấm **New Plot** để hiển thị kết quả tại một cửa sổ khác, bấm **Close** để đóng cửa sổ.



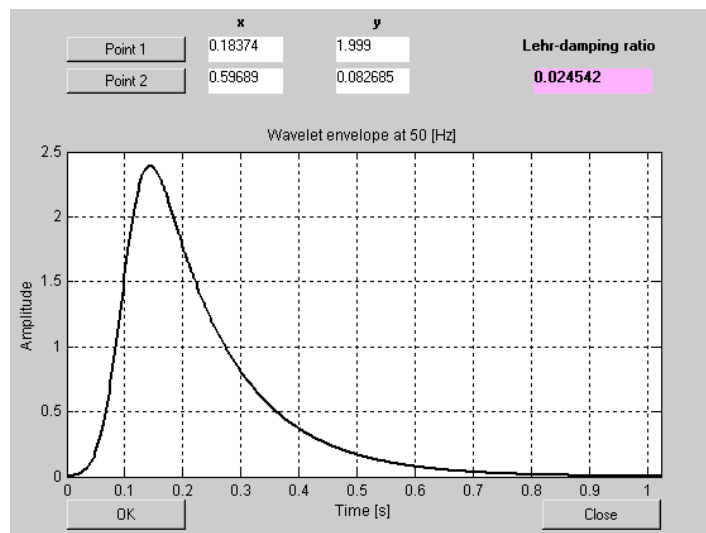
Hình 2.17

Nhận dạng độ cản (Damping Identification)

1. Chọn trên cửa sổ chính Menu: **Damping Identification / Damping Identification**, một cửa sổ hiện ra như hình 2.18.
2. Chọn các tham số cho phép biến đổi Wavelet:
 - Giá trị ω_0 (**Wavelet parameter**): $5 \leq \omega_0 \leq 20$ (mặc định $\omega_0=10$).
 - Bước tính s (**Scale / Octave**): $16 \leq s \leq 64$ (mặc định $s=16$).
 - Dải tần cần phân tích (**Passband**) (mặc định từ 1 đến tần số Nyquist $F_s/2$)
3. Bấm vào nút **Start** để tính toán và hiển thị đồ thị của hệ số Wavelet.
4. Chọn gần đúng một điểm tần số có giá trị hệ số Wavelet đạt cực trị (ứng với dạng dao động riêng cần xác định độ cản) và một dải tần hẹp xung quanh tần số này. Chương trình sẽ xác định được tần số riêng ứng với dạng dao động riêng này. Bấm vào nút **Apply** để tính toán đường bao tín hiệu. Nếu muốn chọn lại, bấm vào nút **Cancel**.



Hình 2.18



Hình 2.19

- Sau khi bấm vào nút **Apply**, đường bao tín hiệu sẽ được hiển thị trên một cửa sổ như hình 2.19. Chọn **Point 1** và **Point 2** để xác định điểm đầu và điểm cuối bất kỳ trên đường bao.

6. Bấm vào nút **OK**, kết quả tính toán độ cản **Lehr** sẽ hiện ra trên khung kết quả tại góc bên phải của cửa sổ.
7. Bấm **Close** để đóng cửa sổ này và quay trở lại cửa sổ **Damping Identification** để tính toán độ cản ứng với tần số riêng khác.

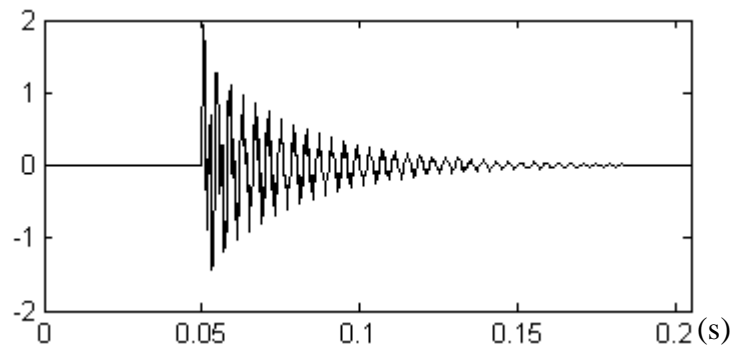
Để minh họa cho phương pháp, ta xét một tín hiệu gồm 3 tần số khác nhau

$$x(t) = \sum_{i=1}^3 a_i e^{-\zeta_i \omega_{0i} t} \sin(\omega_{di} t + \phi_i)$$

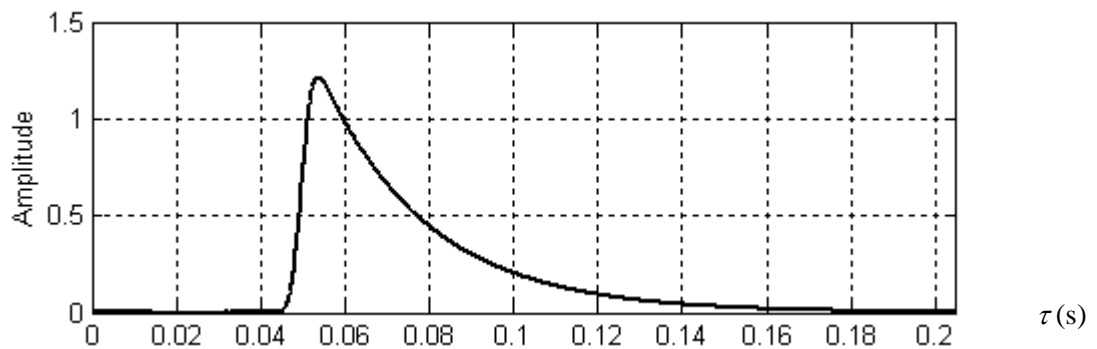
Các tham số của tín hiệu được cho trong bảng 8, đồ thị tín hiệu được biểu diễn trên hình 2.20. Các kết quả nhận dạng cản nhờ chương trình DAMP được trình bày trong bảng 9.

	1	2	3
$f_i = \omega_{di} / 2\pi$ (Hz)	250	500	1250
ζ_i	0.02	0.045	0.005
ϕ_i	$-\pi/8$	$\pi/6$	$\pi/8$
a_i	1.0	1.25	0.5

Bảng 8: Các tham số của tín hiệu



Hình 2.20: Đồ thị tín hiệu theo thời gian



Hình 2.21: Đường bao tín hiệu tại tần số $f_2 = 500$ Hz

Tham số	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
$\omega_{di} / 2\pi$ (Hz)	247	500	1255
T_i (s)	4×10^{-3}	2×10^{-3}	7.97×10^{-4}
m	10	15	50
τ_0	0.080	0.0567	0.060
$ W_x(\tau_0, \omega_{di}) $	2.6167	2.5620	0.9835
$ W_x(\tau_0 + mT_i, \omega_{di}) $	0.7340	0.0485	0.2060
δ_i	0.1271	0.2645	0.0313
ζ_i	0.0202	0.0421	0.005
Sai số ω_{di} (%)	1.1	0.0	0.4
Sai số ζ_i (%)	1.0	6.4	0.0

Bảng 9: Kết quả nhận dạng cản

Các file (*.m) của chương trình DAMP

damp Main programm
inhalt List of Matlab script file

1. Script files for Dialog windows

filterme Filtering
koeffme Damping Identification
lesen1me ASCII - File loading
lesen2me Binary - File loading
lesen3me Sound- File loading
freqme Frequency analysis

2. Script files: Utilities

abkl creates the Test signals (decaying signals)
do_close -
do_glob creates the global Variables
do_load1 Loading ASCII-File
do_load2 Loading Binary-File
do_load3 Loading Sound File
do_off -
do_on -
do_pad -
redauer -
str_off -
testsig creates other test signals
val_off -
val_on -

3. Script files for Signal Analysis

do_filt	Filtering
do_freq	Frequency analysis
fenszfv	Standard Window functions for FFT

4. Script files for Damping Identification

do_cwt	Wavelet Transform
do_damp	plots the signal envelopes and shows damping ratios
do_envelope	calculates the signal envelopes
do_ratios	calculates the damping ratios

Tài liệu tham khảo

1. Fu, Y. and Kasai, K. (1998), Comparative Study of Frames Using Visco-elastic and Viscous Damper, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(5), 513-522.
2. Constantinou, M.C., Tsopelas, P. Hammel, W. and Sigaher, A.N. (2000), New Configurations of Fluid Viscous Dampers for Improved Performance, *Symposium of Passive Control Structures-2000*, Tokyo Institute of Technology, 261-272.
3. ICBO, Uniform Building Code. International Conference of Building Officials, Whittier, California, April, 1997.
4. Mellon, D., Caltrans' Proposed Testing of the Seismic Response Modification Devices for the Toll Bridge Retrofit Program. Proceedings, Second National Seismic Bridge Conference, Sacramento, California, July, 1997.
5. Deh-Shiu Hsu, Yung-Feng Lee, Chien-Yuan Hou and Juan-The Lee, Test requirements and its execution for the velocity dependent energy dissipation devices, Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, R.O.C, dshsu@mail.ncku.edu.tw
6. Taylor, D.P. (2002), "History, Design, and Applications of Fluid Dampers in Structural Engineering",
7. Pekan, G., Mander, J.B. and Chen, S.S. (1999), "Fundamental Considerations for The Design of Nonlinear Viscous Damper", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 1405-1425.
8. Fu, Y. and Kasai, K. (1998), "Comparative Study of Frames Using Visco-elastic and Viscous Damper", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(5), 513-522.
9. Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Hammel, W. and Sigaher, A.N. (2000), "New Configurations of Fluid Viscous Dampers for Improved Performance", *Symposium of Passive Control Structures – 2000*, Tokyo Institute of Technology, 261-272.
10. Taylor, D.P. (1995), "Testing Procedures for High Output Fluid Viscous Dampers Used in Building and Bridge Structures to Dissipate Seismic Energy", *Shock and Vibration*, 2(5), 373-381.
11. Constantionu, M.C. and Symans, M.D. (1992), Experimental and Analytical Investigation of Seismic of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers, Report No. NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY at Buffalo, New York.
12. Mallat S., *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, San Diego, London, New York, 1999.
13. Peng Z. K., Chu F. L., Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography. *Mechanical Systems and Signal Processing* **18** (2004) 199-221.

14. Slavic J., Simonovski I., Boltezar M., Damping identification using a continuous wavelet transform: application to real data. *Journal of Sound and Vibration* **262** (2003) 291-307.
15. Newland D. E., Ridge and Phase Identification in the Frequency Analysis of Transient Signals by Harmonic Wavelets, *ASME Journal of Vibration and Acoustics* **121** (1999) 149-155.
16. Schukin E. L., Zamaraev R. U., Schukin L. I., The optimisation of wavelet transform for the impulse analysis in vibration signals. *Mechanical Systems and Signal Processing* **18** (2004) 1315-1333.
17. Meltzer G., Nguyen Phong Dien, Fault diagnosis in gears operating under non-stationary rotational speed using polar wavelet amplitude maps. *Mechanical Systems and Signal Processing* **18** (2004) 985-992.
18. nman D. J., *Engineering vibration*, Prentice-Hall Publisher, New Jersey, 2001.
19. Louis, K. A., *Wavelets, Theorie und Anwendungen*. Stuttgart: Teubner Verlag 1994.

III. CHẾ TẠO CÁC PHỤ KIỆN PHỤC VỤ THÍ NGHIỆM MÔ PHÒNG CHỐNG DAO ĐỘNG

1. Mua thiết bị đo dao động

Theo đề cương được duyệt đã tiến hành mua thiết bị đo dao động của Hãng IMV Nhật Bản. Dưới đây là một số thông số kỹ thuật cơ bản của thiết bị.

TT	Chi tiết	Mô den	Số Lượng	Đơn vị	Xuất xứ
	THIẾT BỊ ĐO DAO ĐỘNG - HÃNG IMV NHẬT BẢN THIẾT BỊ BAO GỒM:				
1	Signal Conditioner VM-5123/6 + 06 kênh đo dao động. + 02 kênh đo điện áp + Adapter + Battery + Dây nguồn + Tài liệu hướng dẫn sử dụng + tài liệu nguyên bản máy đo	VM-5123/6	1	bộ	Nhật
	Card chuyển đổi tương tự/ số: A/D card và cáp nối với máy tính				
2	Phần mềm thu thập và xử lý tín hiệu: Software DS-5123RA + tài liệu hướng dẫn sử dụng gốc nguyên bản	DS-5123RA	1	bộ	Nhật
3	3- axis Servo-type Acceleration Pickup VP-5123HHV với 30m Cáp và đầu nối (bộ hoàn chỉnh)	VP-5123HHV	1	bộ	Nhật
4	Piezo-resistive type Acceleration Pickup VP-2001PS: Đầu đo gia tốc một hướng với cáp đo 5 mét và đầu nối (bộ hoàn chỉnh)	VP-2001PS	2	bộ	Nhật
5	Máy tính notebook Processor Type: Intel Pentium- M Processor or Intel - Celeron M Processor Memory 256MB Displays 14" XGA nhìn được ở ánh sáng ngoài trời. Hard Drives: 20GB	DELL	1	bộ	Đông Nam á/ Trung Quốc / Nhật

Thiết bị đo dao động đã được sử dụng cùng với các thiết bị đã có để đo dao động tại cầu Bến Cốc. Trong hình 1.1 thiết bị này nằm ở bên trái.



Hình 1.1: Thiết bị đo dao động của Hãng IMV đang được dùng ở cầu Bến Cốc

Việc sử dụng nhiều thiết bị đo đã làm tăng thêm độ tin cậy của số liệu đo và cũng làm giảm thời gian đo trên cầu do số dây cáp của cầu khá nhiều.

2. Chế tạo mô hình thí nghiệm giảm dao động cáp cầu

a. Nghiên cứu thiết kế thiết bị căng cáp

Các đặc tính kỹ thuật của thiết bị căng cáp

Thiết bị căng cáp dùng để thí nghiệm đánh giá hiệu quả và giúp lựa chọn được các đặc trưng lực thích hợp của bộ tiêu tán năng lượng cản nhớt nhằm làm giảm dao động đối với dây cáp thí nghiệm. Thiết bị phải đủ độ cứng khi căng cáp, có thể thay đổi được lực căng cáp qua hệ thống thay đổi lực kéo và được đánh giá bởi thiết bị đo lực (loadshell). Góc nghiêng của cáp cũng có thể thay đổi được để mô phỏng các vị trí khác nhau của dây cáp trong cầu dây văng. Một đầu của cáp được nối với khung dầm thép đặt trên hệ thống lò xo để thay đổi độ cứng đàn hồi của dầm nhằm mô phỏng ảnh hưởng của thân cầu đối với cáp. Vị trí lắp đặt thiết bị TTNL cản nhớt vào dây cáp cũng có thể thay đổi dọc theo dây để đánh giá ảnh hưởng của vị trí lắp thiết bị TTNL khi nhằm giảm dao động của cáp.

Kích thước chế tạo của thiết bị căng cáp cố gắng càng lớn càng tốt nhưng không thể vượt quá không gian cho phép của Phòng thí nghiệm.

Thiết kế hai trụ tháp

Thiết kế bộ phận kết nối hai trụ tháp

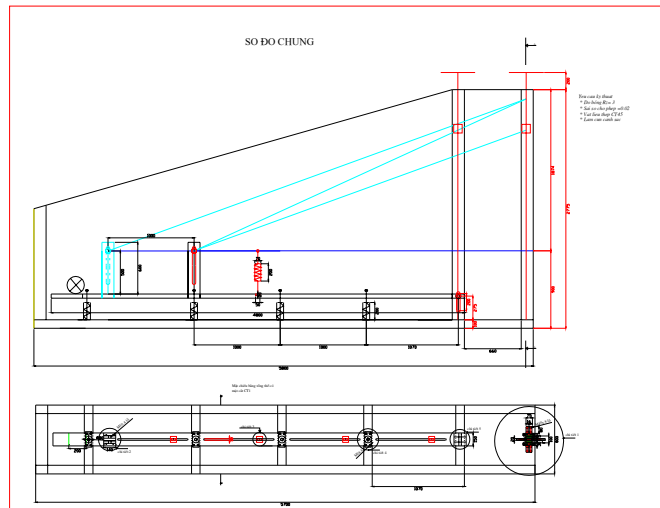
- Quy phạm thiết kế chế tạo:
- + Quy phạm thiết kế được áp dụng tính toán theo tài liệu thiết kế chế tạo máy

trong và ngoài nước.

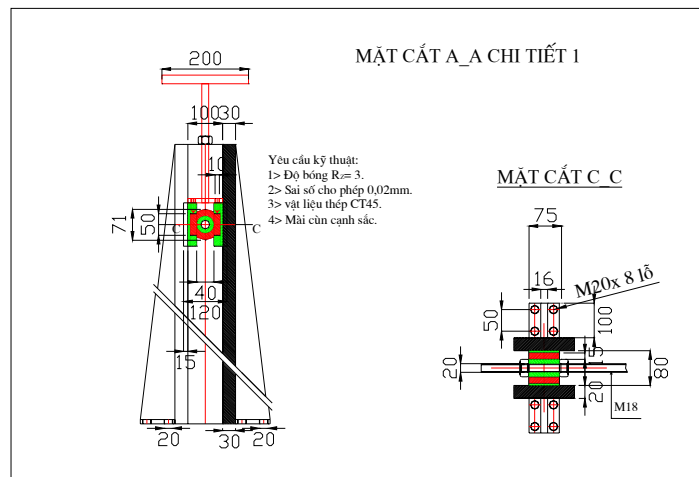
- + Quy phạm chế tạo được áp dụng theo TCVN 72-63, TCVN 102-63, TCVN – 2737:1990
- + Các vật liệu, quy phạm chế tạo được áp dụng theo TCVN – 5575:1991, TCVN – 1656:1993
- + Công tác hàn được áp dụng theo:TCVN – 3223 : 1994
- Cường độ vật liệu tối thiểu được dùng trên cơ sở các chứng chỉ vật liệu.
- Cường độ bu lông và khoá lắp ghép tối thiểu được dùng có: Cấp bền theo TCVN.
- Cấu kiện sau khi gia công xong được làm sạch, sau đó được sơn chống gỉ và sơn màu.

Các bản vẽ thiết kế mô tả cấu tạo hoàn chỉnh.

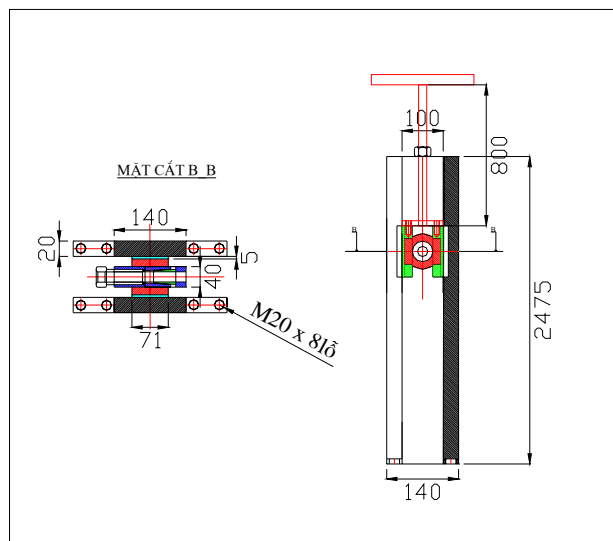
Bản vẽ tổng thể



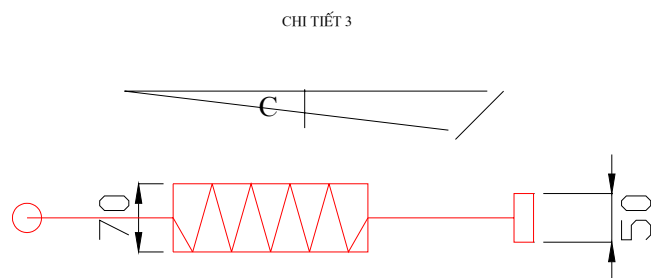
Bản vẽ CT1.



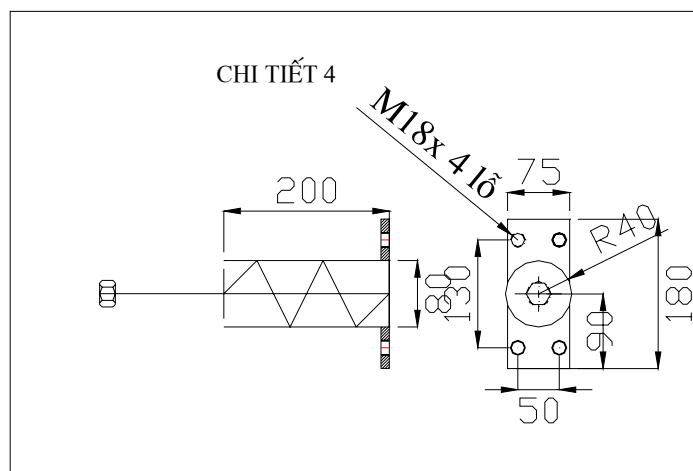
Bản vẽ CT2.



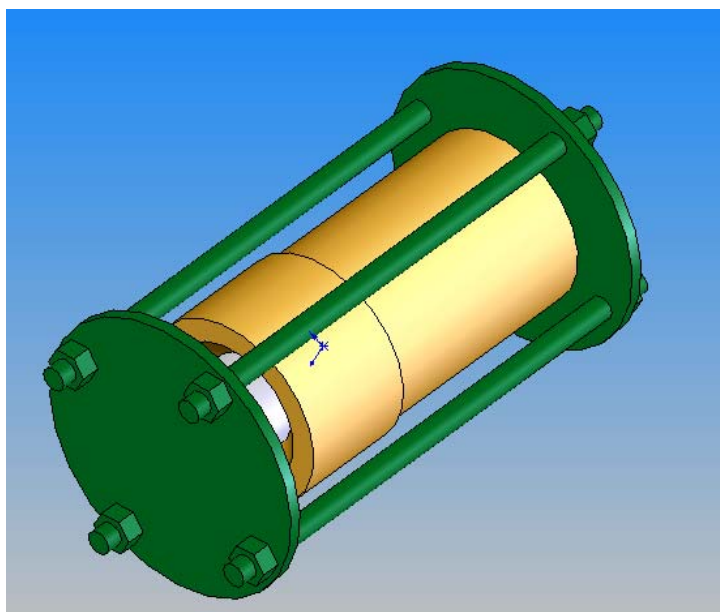
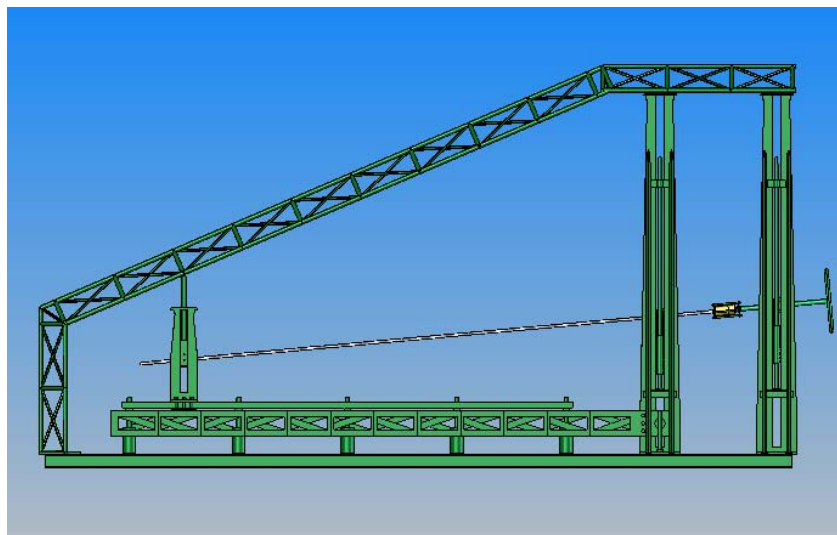
Bản vẽ CT3.



Bản vẽ CT4.



Ngoài ra thiết bị căng cáp còn được thiết kế trong không gian 3D để tạo dáng và xem xét tổng thể kết cấu theo các góc nhìn khác nhau. Dưới đây là một số hình ảnh thiết kế 3D của thiết bị.



b. Chế tạo thiết bị căng cáp

Theo thiết kế thiết bị căng cáp đã được chế tạo tại Viện Cơ Học và đã phục vụ rất tốt công việc thí nghiệm trong phòng để đánh giá hiệu quả của thiết bị TTNL. Dưới đây là một số hình ảnh chế tạo thiết bị căng cáp.



Hình 2.1. Chế tạo và thí nghiệm trên thiết bị căng cáp

3. Thí nghiệm đánh giá hiệu quả giảm dao động của cáp bằng bộ TTNL trong phòng thí nghiệm

Công việc nghiên cứu ảnh hưởng tác động của thiết bị TTNL cản nhót đến dao động của dây cáp được tiến hành qua việc đo dao động của dây cáp, khi dây cáp được lắp thiết bị giảm chấn (TTNL) so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn trên mô hình thí nghiệm kéo căng cáp tại phòng thí nghiệm cơ học công trình thuộc Viện cơ học.

Mục đích của công việc nghiên cứu thực nghiệm là đánh giá sự suy giảm dao động của dây cáp như gia tốc, tần số và dịch chuyển khi dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn với dây cáp không được lắp thiết bị giảm chấn nhằm nâng cao độ bền, ổn định và tuổi thọ cho các công trình cầu cáp treo ở Việt Nam.

Thiết bị thí nghiệm và quá trình thực nghiệm đo dao động của dây cáp.

– Máy móc, thiết bị thí nghiệm đo dao động của dây cáp. Toàn bộ máy móc, thiết bị đo dao động của dây cáp bao gồm:

+ Máy đo với tải động DMC – Plus của Cộng Hoà Liên Bang Đức, máy được điều khiển và đo hoàn toàn nhờ vào chương trình của máy vi tính.

+ Máy tính xách tay Compag của Mỹ với chương trình đo và xử lý kết quả đo dao động.

Hai đầu đo dao động được cấu tạo theo nguyên lý cảm ứng điện từ. Các đầu đo dao động được gắn chặt lên dây cáp. Dưới tác động của tải trọng động, dây cáp treo ở cầu sẽ dao động, làm đầu đo dao động sẽ dao động theo dây cáp. Quả nặng bằng thép trong đầu đo dao động sẽ dịch chuyển lên xuống làm thay đổi dòng điện của các cuộn dây cảm ứng trong đầu đo dao động. Các tín hiệu thay đổi của dòng điện cảm ứng điện từ khi qua máy đo dao động sẽ biến đổi từ dạng tương tự sang dạng số, rồi được khuếch đại và qua dây dẫn truyền vào chương trình đo và xử lý kết quả của máy tính.

Quá trình thực nghiệm đo dao động của dây cáp

Công việc thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp, khi dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn được tiến hành nghiên cứu thực nghiệm ở mô hình thí nghiệm tại Phòng thí nghiệm Cơ học Công trình.

Quá trình thực nghiệm đo dao động của dây cáp được thực hiện như sau: Máy đo dao động được điều khiển quá trình đo theo chương trình của máy vi tính. Hai đầu đo dao động được gắn chặt vào 2 điểm đo trên 2 dây cáp của cầu. Đầu đo dao động được gắn vuông góc với dây cáp. Các tín hiệu đo dao động ở hai đầu đo dao động tại hai điểm đo được hoạt động. Đồng thời cùng một lúc và qua chương trình điều khiển quá trình đo của máy vi tính được miêu tả thành hai đồ thị của hàm gia tốc theo thời gian $a=$

$f(t)$. Dựa vào chương trình đo và xử lý kết quả đo dao động, chúng ta xác định được tần số giao động của dây cáp theo hàm của mật độ phổ $S = F(t)$ và chuyển vị của dây cáp là hàm của thời gian $U = f(t)$. Dưới đây là một số hình ảnh thí nghiệm.



Hình 3.1. Lắp đặt thiết bị TTNL và thay đổi lực căng cáp



Hình 3.2. Máy đo dao động của cáp

a. Đo và phân tích dao động của cáp khi chưa gắn thiết bị TTNL

Đo dao động của cáp

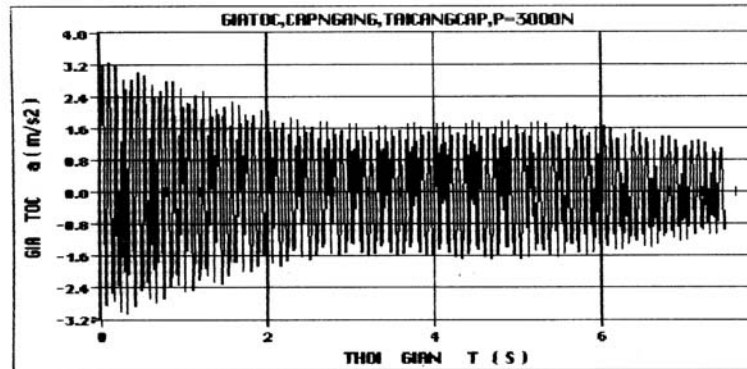
Thí nghiệm đo dao động của dây cáp, khi dây cáp không được lắp thiết bị giảm chấn. Đo dao động của dây cáp trên mô hình thí nghiệm được thực hiện theo 2 dạng sau:

- Thí nghiệm đo dao động của dây cáp nằm ngang với tải kéo căng cáp thay đổi
- Thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ với tải kéo căng cáp thay đổi

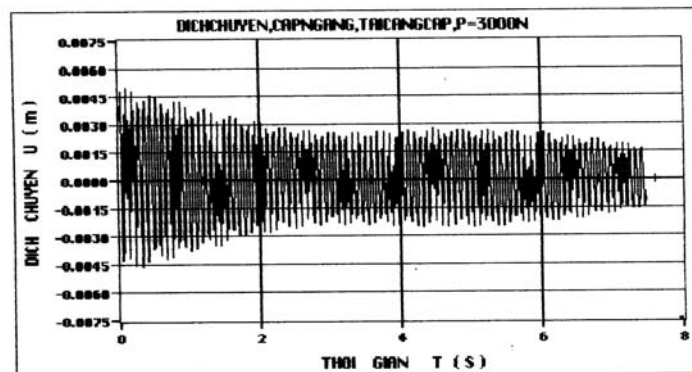
Vẽ đồ thị theo thời gian của gia tốc và dịch chuyển

Thí nghiệm trên mô hình đo dao động của dây cáp nằm ngang với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 3000\text{N}; 7000\text{N}$.

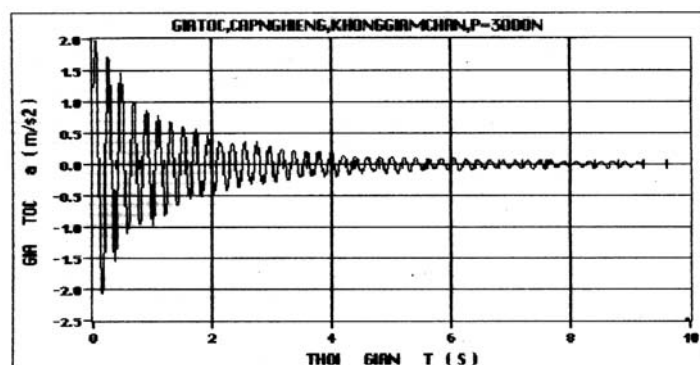
Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị cho ở các hình dưới đây



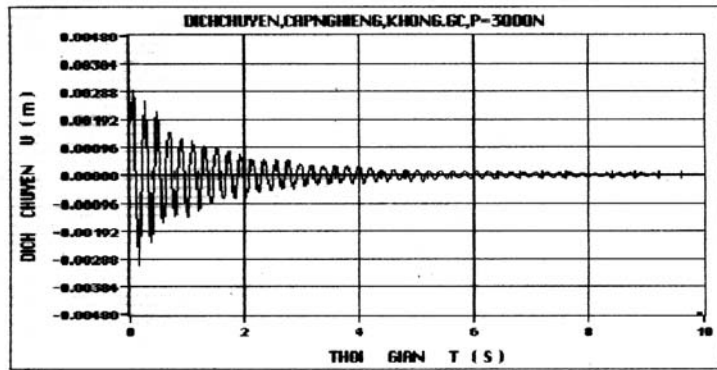
Hình 3.3: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp ngang, tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



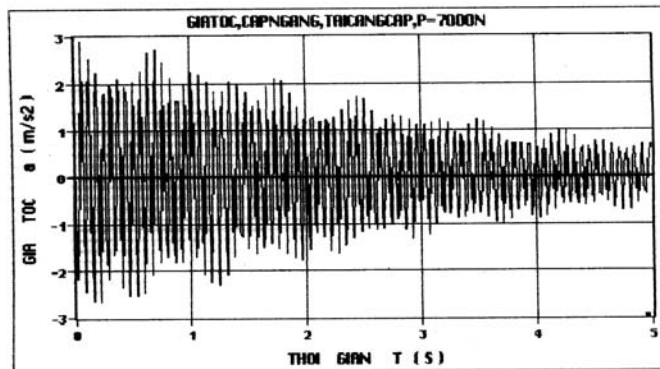
Hình 3.4: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp ngang, tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



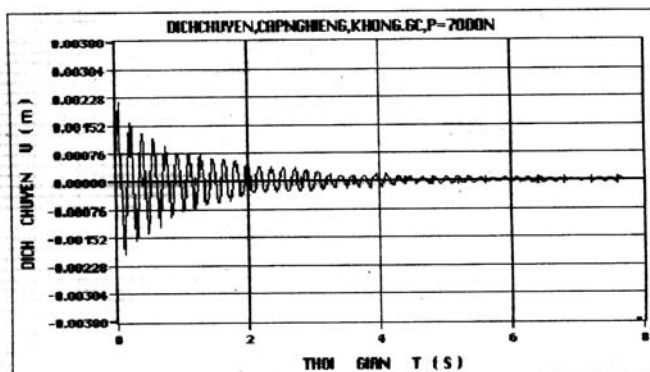
Hình 3.5: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp nghiêng, tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



Hình 3.6: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp nghiêng, tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



Hình 3.7: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp ngang, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

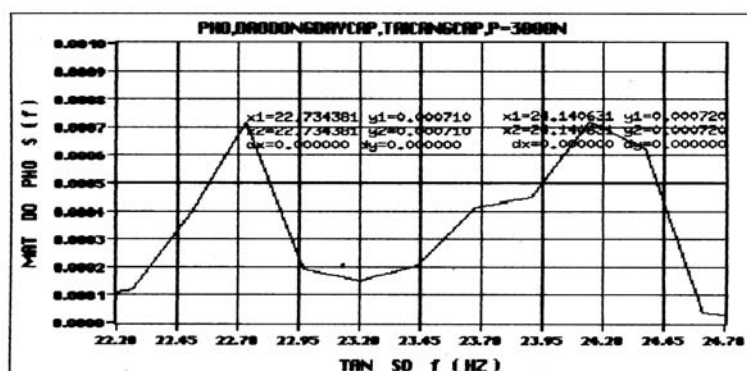


Hình 3.8: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp nghiêng, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

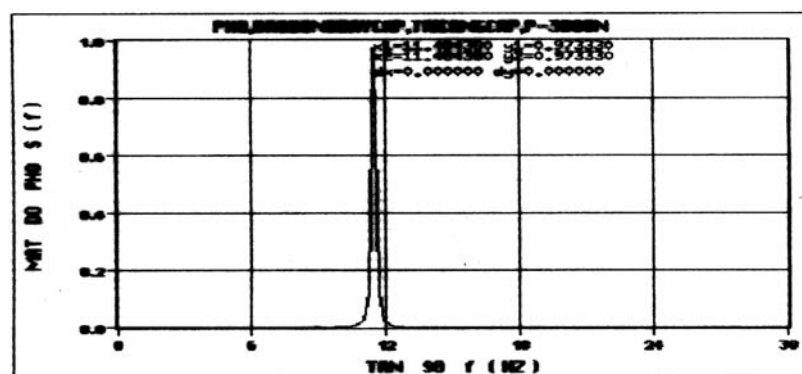
Tính toán biên độ và tần số của gia tốc

Thí nghiệm trên mô hình đo dao động của dây cáp nằm ngang với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 3000\text{N}; 7000\text{N}$.

Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị biên độ và tần số của gia tốc cho ở các hình vẽ dưới đây



Hình 3.9: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp tải căng cáp là $P=3000N$



Hình 3.10: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp tải căng cáp là $P=3000N$

b. Đo và phân tích dao động của cáp khi có gắn thiết bị TTNL

Đo dao động của cáp

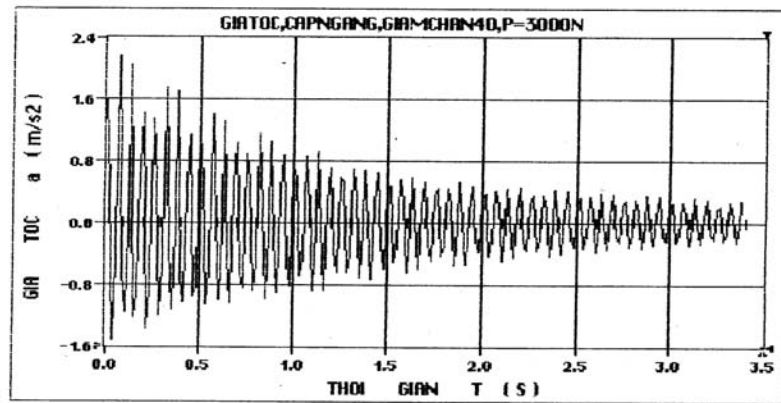
Thí nghiệm đo dao động của dây cáp khi dây cáp được lắp thiết bị giảm chấn. Đo dao động của dây cáp trên mô hình thí nghiệm được thực hiện theo 2 dạng sau:

- Thí nghiệm đo dao động của dây cáp nằm ngang với tải kéo căng cáp thay đổi
- Thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ với tải kéo căng cáp thay đổi

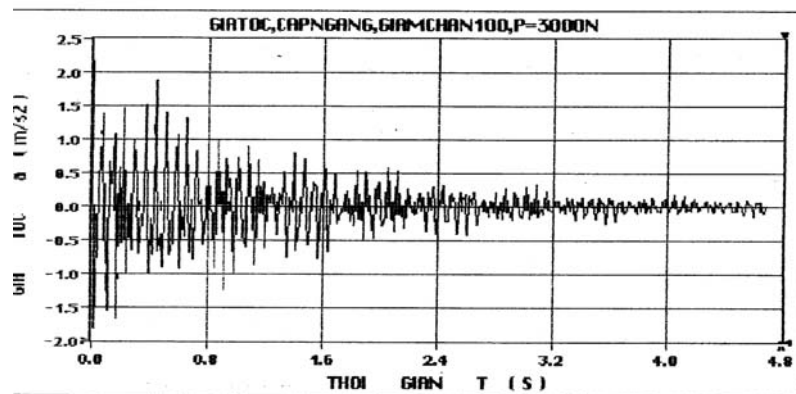
Vẽ đồ thị theo thời gian của gia tốc và dịch chuyển

Thí nghiệm trên mô hình đo dao động của dây cáp nằm nghiêng với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 3000N; 7000N$.

Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị cho ở các hình vẽ dưới đây

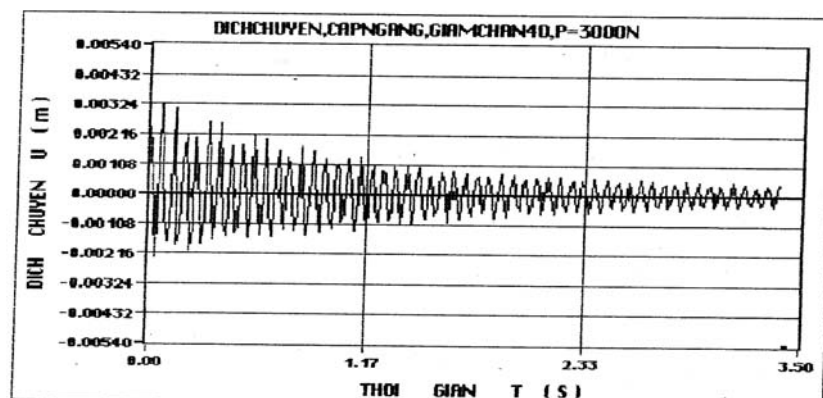


Hình 3.11: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 40, tải căng cáp là $P=3000N$

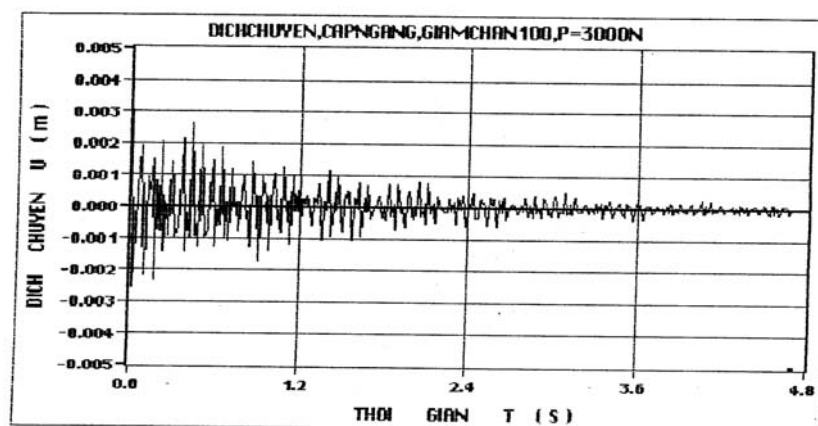


Hình 3.12: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=3000N$

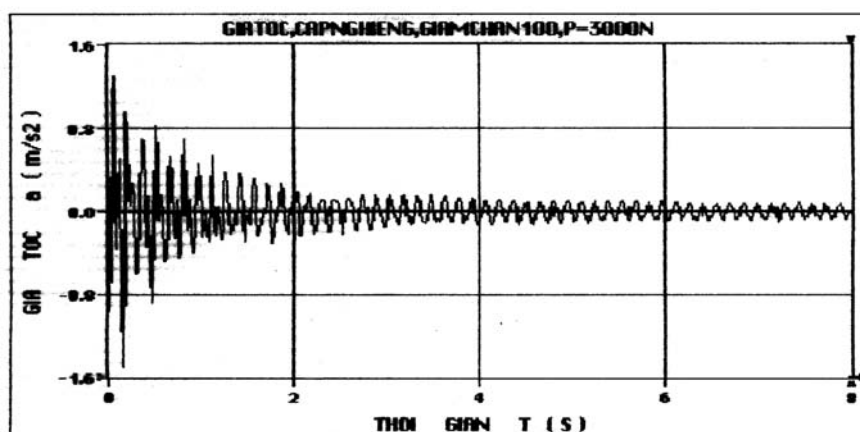
Nhận xét: trong trường hợp cáp ngang, tải căng cáp là $P=3000N$ thì gia tốc của cáp giảm tốt hơn khi cáp được lắp giảm chấn 100 so với khi cáp được lắp giảm chấn 40.



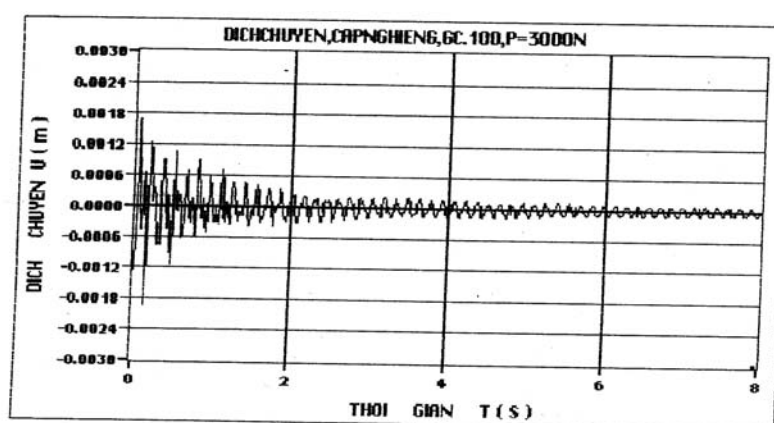
Hình 3.13: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 40, tải căng cáp là $P=3000N$



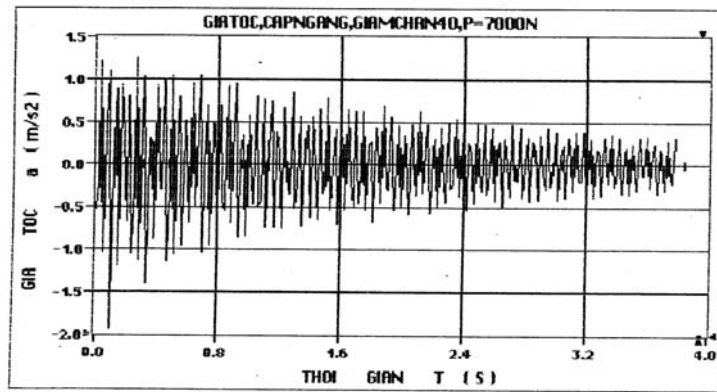
Hình 3.14: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cấp ngang, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=3000N$



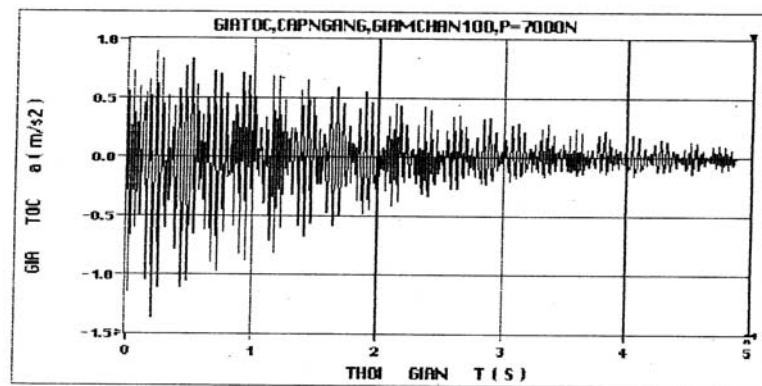
Hình 3.15: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cấp nghiêng, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=3000N$



Hình 3.16: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cấp nghiêng, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=3000N$

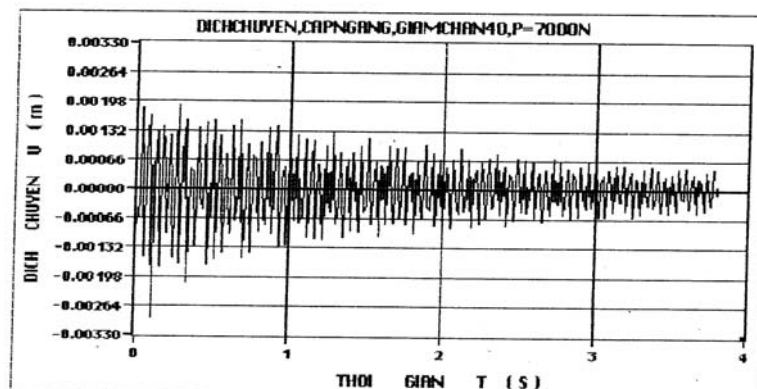


Hình 3.17: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cấp ngang, giảm chấn 40, tải căng cáp là $P=7000N$

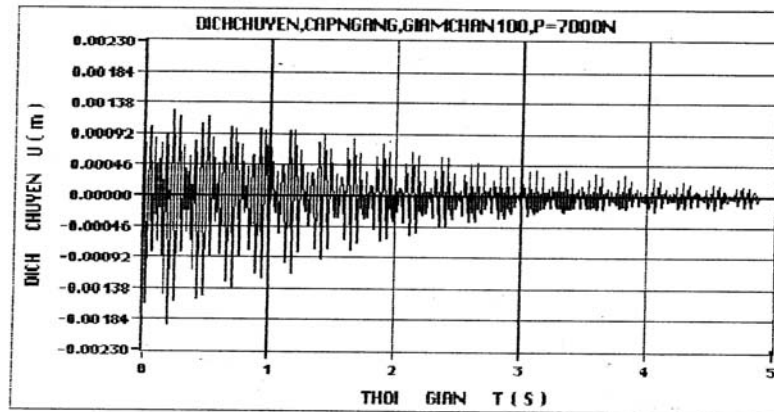


Hình 3.18: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cấp ngang, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=7000N$

Nhận xét: trong trường hợp cấp ngang, tải căng cáp là $P=7000N$ thì gia tốc của cáp giảm tốt hơn khi cáp được lắp giảm chấn 100 so với khi cáp được lắp giảm chấn 40.

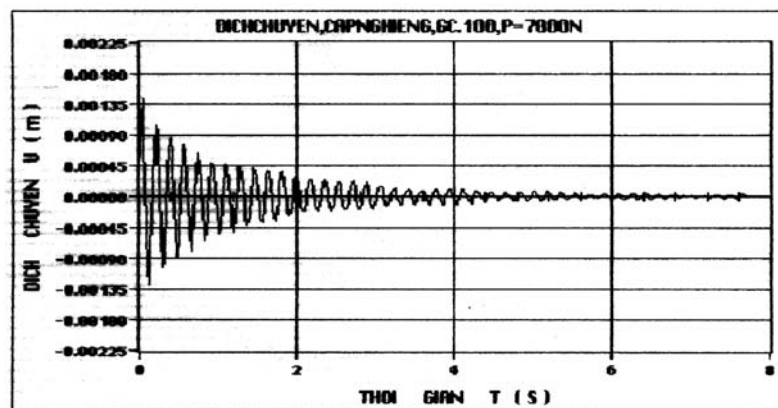


Hình 3.19: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cấp ngang, giảm chấn 40, tải căng cáp là $P=7000N$

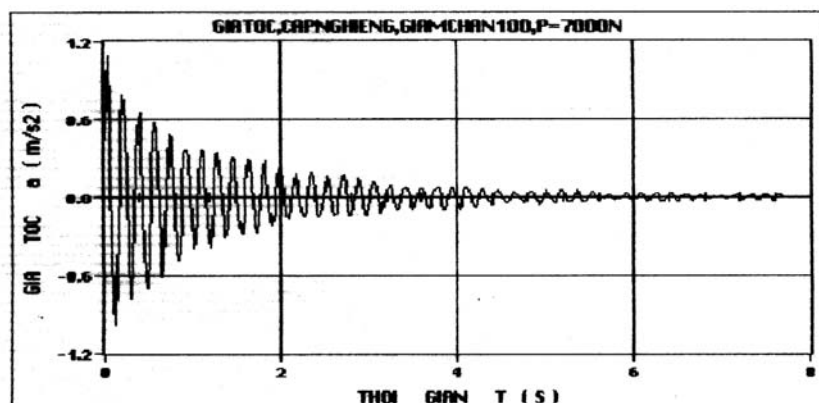


Hình 3.20: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

Nhận xét: trong trường hợp cáp ngang, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$ thì dịch chuyển của cáp giảm tốt hơn khi cáp được lắp giảm chấn 100 so với khi cáp được lắp giảm chấn 40.



Hình 3.21: Đồ thị dịch chuyển trong trường hợp cáp nghiêng, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

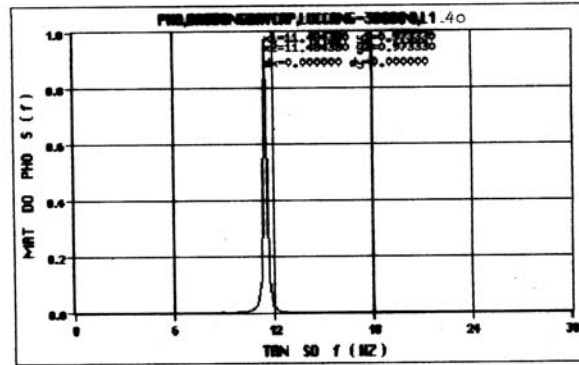


Hình 3.22: Đồ thị gia tốc trong trường hợp cáp nghiêng, giảm chấn 100, tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

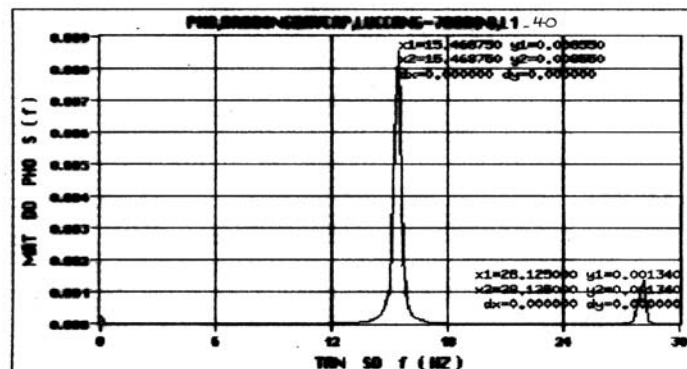
Tính toán biên độ và tần số của gia tốc

Thí nghiệm trên mô hình đo dao động của dây cáp nằm ngang với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 3000\text{N}$; 7000N .

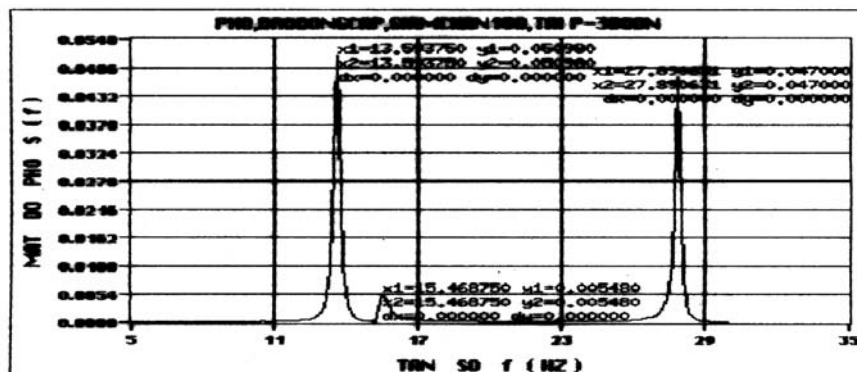
Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị biên độ và tần số của gia tốc cho ở các hình vẽ dưới đây



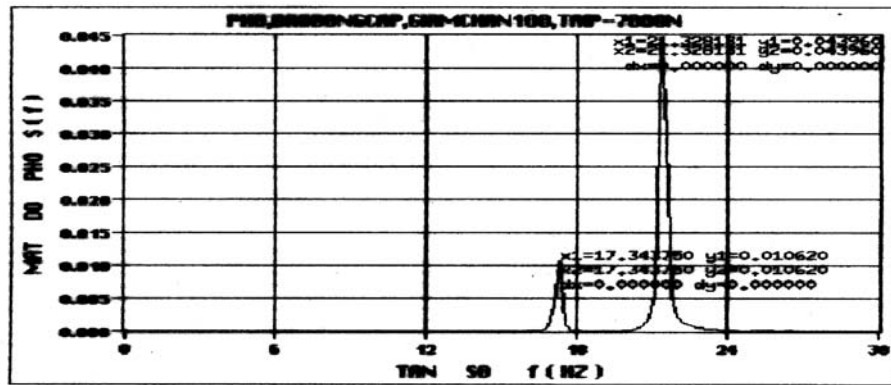
Hình 3.23: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 40 tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



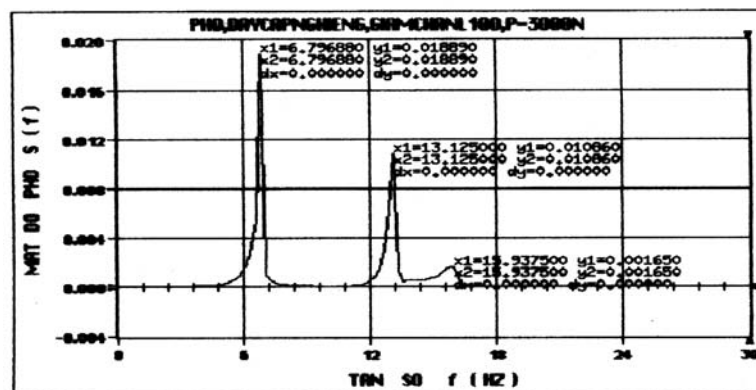
Hình 3.24: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 40 tải căng cáp là $P=7000\text{N}$



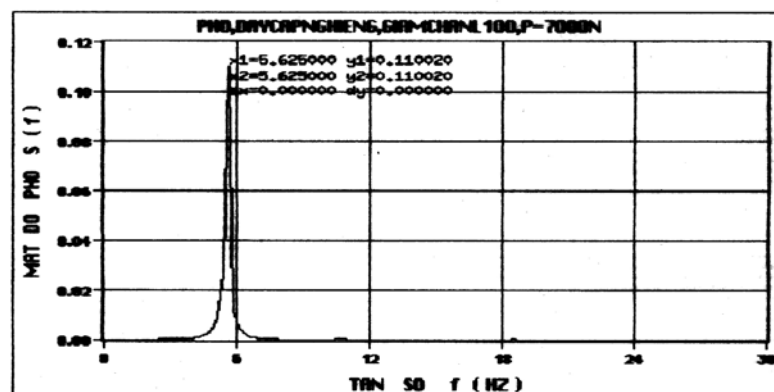
Hình 3.25: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 100 tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



Hình 3.26: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp ngang, giảm chấn 100 tải căng cáp là $P=7000\text{N}$



Hình 3.27: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp nghiêng, giảm chấn 100 tải căng cáp là $P=3000\text{N}$



Hình 3.28: Phổ dao động của dây cáp trong trường hợp cáp nghiêng, giảm chấn 100 tải căng cáp là $P=7000\text{N}$

Một số trường hợp cụ thể đã được mô tả bởi các đồ thị trên. Bảng tổng kết tất cả các trường hợp thí nghiệm cũng đã được tiến hành trong Phòng thí nghiệm.

c. Đo dao động khi lực căng thay đổi

Thí nghiệm trên mô hình đo sự suy giảm dao động của dây cáp nằm ngang có lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn, với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 1000N; 2000N; 3000N; 4000N; 5000N; 6000N; 7000N; 8000N$ và $9000N$.

Thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình với tải kéo căng cáp thay đổi được thực hiện cho 3 trường hợp:

Trường hợp 1: Đo dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình, tại dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn, kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động cho ở Bảng 1 và Bảng 2.

Nhận xét: kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nằm ngang, trên mô hình dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn cho thấy:

+ Khi tải kéo căng cáp P_k tăng từ $P_k = 1000N$ đến $P_k = 9000N$ thì gia tốc dao động giảm 39,26%, chuyển vị giảm 34,61% và tần số dao động tăng 48,67%

Trường hợp 2: Đo dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình, tại dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC40. Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động cho ở Bảng 3 và Bảng 4.

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình, ở dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC40 cho thấy: khi tải kéo căng cáp P_k tăng từ $P_k = 1000N$ đến $P_k = 9000N$ thì gia tốc dao động giảm 50% chuyển vị giảm 51,25% và tần số dao động tăng 47,98%.

Trường hợp 3: Đo dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình, tại dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC.100. Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động cho ở Bảng 5 và Bảng 6.

Nhận xét: kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nằm ngang trên mô hình, ở dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC.100 cho thấy: Khi tải kéo căng cáp P_k tăng từ $P_k = 1000N$ đến $P_k = 9000N$ thì gia tốc dao động giảm 64,70% chuyển vị giảm 63,80% và tần số dao động tăng 46,99%

Bảng 1: Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nằm ngang không lắp thiết bị giảm chấn trên mô hình thí nghiệm – Viện Cơ học.

Tải kéo cáp	Gia tốc $a(m/s^2)$	Chuyển vị $U (m)$
$P = 1000N$	4,01	0,0052
$P = 3000N$	3,20	0,0048
$P = 5000N$	3,10	0,0046
$P = 7000N$	2,60	0,0036
$P = 9000N$	2,40	0,0034

Bảng 2: Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nằm ngang, không lắp thiết bị chấn, trên mô hình thử nghiệm – Viện Cơ học.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f(Hz)
P = 1000N	f = 8,90; 18,75
P = 2000N	f = 10,07; 21,32
P = 3000N	f = 11,48; 22,73; 24,14
P = 4000N	f = 12,65; 19,68; 26,25
P = 5000N	f = 13,59; 28,12
P = 6000N	f = 14,53; 29,76
P = 7000N	f = 15,46; 27,89
P = 8000N	f = 16,17; 26,25
P = 9000N	f = 17,34; 24,37

Bảng 3. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nằm ngang. Có lắp thiết bị giảm chấn GC.40.

Tải kéo cáp	Gia tốc a (m/s ²)	Chuyển vị U (m)
P = 1000N	2,40	0,00320
P = 3000N	1,97	0,00250
P = 5000N	1,60	0,00210
P = 7000N	1,30	0,00165
P = 9000N	1,20	0,00156

Bảng 4. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nằm ngang có lắp thiết bị giảm chấn GC.40.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f(Hz)
P = 1000N	f = 8,90; 18,75
P = 2000N	f = 10,08; 21,32
P = 3000N	f = 11,48; 24,14
P = 4000N	f = 12,65; 19,68; 26,25
P = 5000N	f = 13,59; 28,35
P = 6000N	f = 14,53; 18,51; 29,53
P = 7000N	f = 15,46; 28,12
P = 8000N	f = 16,17; 26,25
P = 9000N	f = 17,109; 24,60

Bảng 5: Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nằm ngang có lắp thiết bị giảm chấn GC.100.

Tải kéo cáp	Gia tốc a (m/s ²)	Chuyển vị U (m)
P = 1000N	1,70	0,00210
P = 3000N	1,60	0,00200
P = 5000N	1,40	0,00170
P = 7000N	0,90	0,00130
P = 9000N	0,60	0,00076

Bảng 6: Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nằm ngang, có lắp thiết bị giảm chấn GC.100, Trên mô hình thí nghiệm – Viện Cơ học.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp $f(\text{Hz})$
$P = 1000\text{N}$	$f = 12,42; 18,80; 25,54$
$P = 2000\text{N}$	$f = 14,06; 28,59$
$P = 3000\text{N}$	$f = 13,59; 15,46; 27,89$
$P = 4000\text{N}$	$f = 17,57; 24,84$
$P = 5000\text{N}$	$f = 18,75; 22,50$
$P = 6000\text{N}$	$f = 20,15$
$P = 7000\text{N}$	$f = 17,34; 21,32$
$P = 8000\text{N}$	$f = 15,23; 22,50$
$P = 9000\text{N}$	$f = 13,35; 23,43$

+ So sánh sự suy giảm dao động trong trường hợp dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.40 với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn ở mô hình thí nghiệm đối với dây cáp nằm ngang.

- Gia tốc suy giảm từ 40,15% đến 50% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.40 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Dịch chuyển của dây cáp suy giảm từ 38,46% đến 54,11% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.40 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tần số dao động của dây cáp có tăng ít 0,8% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC 40 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

+ So sánh sự suy giảm dao động trong trường hợp dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.100 với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn ở mô hình thí nghiệm đối với dây cáp nằm ngang.

- Gia tốc suy giảm từ 57,60% đến 75% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Chuyển vị của dây cáp suy giảm từ 59,61% đến 77% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tần số dao động của dây cáp tăng từ 25,99% đến 28,34% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Thí nghiệm trên mô hình đo sự suy giảm dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ có lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn, với tải kéo căng cáp thay đổi $P_k = 1000\text{N}, 2000\text{N}, 3000\text{N}, 4000\text{N}, 5000\text{N}, 6000\text{N}, 7000\text{N}, 8000\text{N}$ và 9000N .

Thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^0$ trên mô hình với tải kéo căng cáp thay đổi được thực hiện cho 2 trường hợp:

Trường hợp 1: Đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^0$ trên mô hình, tại dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn, kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động cho ở Bảng 7 và Bảng 8.

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha=20^0$ trên mô hình dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn cho thấy:

Bảng 7: Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^0$, không lắp thiết bị giảm chấn.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f(Hz)
P = 1000N	f = 4,92; 14,53
P = 2000N	f = 4,804; 15,117
P = 3000N	f = 4,80; 15,858
P = 4000N	f = 5,039; 9,25; 14,179; 16,523
P = 5000N	f = 5,156; 16,875
P = 6000N	f = 5,39; 10,54; 18,04
P = 7000N	f = 5,625; 10,78; 18,51
P = 8000N	f = 6,093; 11,718; 19,68
P = 9000N	f = 6,32; 123,18; 19,92

Bảng 8: Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^0$, không lắp thiết bị giảm chấn.

Tải kéo cáp	Gia tốc a (m/s ²)	Chuyển vị U (m)
P = 1000N	2,20	0,0033
P = 3000N	2,00	0,0030
P = 5000N	1,80	0,0028
P = 7000N	1,50	0,0022
P = 9000N	1,40	0,0020

Khi tải kéo căng cáp P_k tăng từ $P_k = 1000N$ đến $P_k = 9000N$ thì gia tốc dao động giảm 36,36%, chuyển vị giảm 39,39%; và tần số dao động tăng 27,05%.

Trường hợp 2: Đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^0$ trên mô hình, tại dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC100. Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động cho ở Bảng 9 và Bảng 10.

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha=20^0$, trên mô hình dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC100 cho thấy: khi tải kéo căng cáp P_k tăng từ $P_k = 1000N$ đến $P_k = 9000N$ thì gia tốc dao động giảm 26,08% chuyển vị giảm 30,52% và tần số dao động tăng 24,43%.

+ So sánh sự suy giảm dao động trong trường hợp dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn ở mô hình thí nghiệm đối với dây cáp nghiêng góc $\alpha = 20^\circ$.

- Gia tốc suy giảm từ 27,14% đến 37,27% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

- Chuyển vị của dây cáp suy giảm từ 35% đến 42,42% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

- Tần số dao động của dây cáp tăng từ 1,14% đến 4,59% khi dây cáp nghiêng góc $\alpha = 20^\circ$ lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Bảng 9. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có lắp thiết bị giảm chấn, Trên mô hình thí nghiệm – Viện cơ học

Tải kéo cáp	Gia tốc $a(m/s^2)$	Chuyển vị U (m)
P= 1000 N	1,38	0,00190
P= 3000 N	1,31	0,00174
P= 5000 N	1,21	0,00150
P= 7000 N	1,10	0,00140
P= 9000 N	1,02	0,00132

Bảng 10. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha=20^\circ$, có lắp thiết bị giảm chấn.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f (Hz)
P= 1000 N	$f= 6,093; 11,953; 15,23$
P= 2000 N	$f= 6,328; 12,42; 15,234$
P= 3000 N	$f= 6,796; 13,125; 15,937$
P= 4000 N	$f= 7,265; 13,59; 16,64$
P= 5000 N	$f= 7,734; 13,828; 17,109$
P= 6000 N	$f= 8,20; 14,06; 17,81$
P= 7000 N	$f= 5,625; 16,17; 18,51$
P= 8000 N	$f= 6,09; 11,718; 19,68; 22,26$
P= 9000 N	$f= 9,609; 20,156$

Thí nghiệm trên mô hình, đo sự suy giảm dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ có bọc ống nhựa, lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn với tải kéo căng cáp $P_k = 1000N$ và $P_k = 2000N$

Thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, trên mô hình với tải kéo căng cáp thay đổi được thực hiện cho 2 trường hợp: Trường hợp 1: Đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, trên mô hình, tại đây cáp không lắp thiết bị Giảm chấn. Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, dịch chuyển và tần số dao động cho ở bảng 11 và bảng 12.

Bảng 11. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, không lắp giảm chấn. Trên mô hình thí nghiệm- Viện cơ học.

Tải kéo cáp	Gia tốc a (m/s^2)	Chuyển vị U (m)
P= 1000 N	1,30	0,00190
P= 2000 N	1,20	0,00160

Bảng 12. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ có bọc ống nhựa, không lắp giảm chấn.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f (Hz)
P= 1000 N	$f= 4,45; 7,50; 11,025; 16,17$
P= 2000N	$f= 4,453; 11,015; 12,65; 13,59; 16,64$

Bảng 13. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, có lắp giảm chấn GC100.

Tải kéo cáp	Gia tốc a (m/s^2)	Chuyển vị U (m)
P= 1000N	0,90	0,00110
P= 2000N	0,81	0,00100

Bảng 14. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, có lắp giảm chấn GC100.

Tải kéo cáp	Tần số dao động của dây cáp f (Hz)
P= 1000N	$f= 4,687; 10,31; 13,59; 14,29, 15,93$
P= 2000N	$f=4,92; 10,78; 15,23$

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa, trên mô hình dây cáp P_k tăng từ $P_k= 1000N$ đến $2000N$ thì gia tốc dao động giảm 7,69%, chuyển vị giảm 15,78% và tần số dao động tăng 2,82%.

Trường hợp 2: Đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$ có bọc ống nhựa, trên mô hình, dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC. 100. Kết quả thí nghiệm nhận được các giá trị gia tốc, chuyển vị và tần số dao động của dây cáp cho ở Bảng 13 và 14.

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc nhựa, trên mô hình, dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn GC.100 cho thấy khi tải kéo cáp P_k tăng từ $P_k= 1000N$ đến $2000N$ thì gia tốc dao động giảm 10%; chuyển vị giảm 9,1% và tần số dao động tăng 4,73%.

+ So sánh sự suy giảm dao động trong trường hợp dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.100 với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn ở mô hình thí nghiệm đối với dây cáp nghiêng với góc $\alpha = 20^\circ$, có bọc ống nhựa cho thấy:

- Gia tốc suy giảm từ 30,76% đến 32,5%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

- Chuyển vị của dây cáp suy giảm từ 37,5% đến 42,1% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tần số dao động của dây cáp tăng từ 4,91% đến 9,49% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn GC.100 so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

IV. NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ TTNL

1. Nghiên cứu các đặc trưng kỹ thuật của thiết bị TTNL do nước ngoài sản xuất

Mở đầu

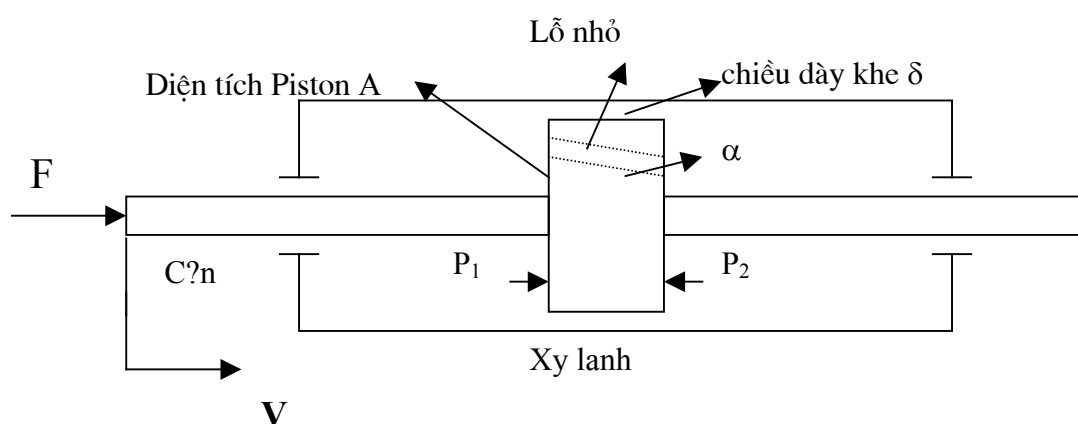
Khi chịu kích động của gió, bão, địa chấn... các công trình sẽ dao động gây ảnh hưởng tới tuổi thọ và các hoạt động của các đối tượng khác. Giải pháp nhằm làm giảm dao động chung của công trình bằng cách bổ sung thêm các thanh giằng hoặc cột trụ dẫn đến thay đổi cấu trúc và nặng nề, tốn kém. Do vậy, giải pháp khả thi hơn cả là bổ sung độ cản cho công trình bằng cách sử dụng các bộ TTNL dùng chất cản nhớt. Việc ứng dụng các bộ TTNL cản nhớt không chỉ làm tăng độ cản của công trình lên 20% so với 5% khi chưa bổ sung mà còn có nhiều lợi thế như ít tốn kém, ít ảnh hưởng tới kiến trúc của công trình đơn giản trong thi công. Đây là phương pháp đã được nhiều quốc gia trên thế giới áp dụng và đem lại hiệu quả rất tốt. Người ta gắn vào công trình những bộ TTNL cản nhớt (Hình 1.1). Do tác dụng tiêu tán năng lượng do ma sát nhớt của bộ cản nhớt, sẽ làm giảm chuyển dịch tương đối giữa các phần trong công trình và làm giảm các rung động của công trình.

a. Nghiên cứu đặc trưng lực - chuyển dịch của thiết bị TTNL của nước ngoài sản xuất

Khi bộ TTNL cản nhớt được gắn lên trên công trình, do sự chuyển động lắc lư của công trình sẽ tạo ra chuyển động tương đối giữa piston và xy lanh. Trong xy lanh, do có độ chênh áp giữa hai khoang trái, khoang phải sẽ sinh ra dòng chảy chất lỏng chuyển động. Khi áp suất tăng cao chất lỏng có thể bị nén với áp suất cao sẽ gây ra những tác động không tốt như đàn hồi, phá huỷ doãng phốt. Do vậy người ta thường chế tạo các bộ TTNL loại hai cần về cả hai phía để thể tích của cần piston đi ra ngoài xy lanh cân bằng với phần thể tích của cần piston phía bên kia đi vào trong xy lanh. Hệ số cản của thiết bị TTNL được quy lại nghiên cứu về dòng chảy qua các khe, lỗ trên đầu piston. Quá trình chuyển động khi có dòng chảy chất lỏng sẽ phát sinh ra lực cản nhớt của chất lỏng khi đi qua các lỗ trên vách ngăn và các van. Năng lượng của dao động sẽ bị tiêu tán theo nguyên lý cản nhớt, ma sát giữa các lớp của chất lỏng nhớt. Dao động chung của công trình sẽ bị tiêu hao một phần trên cơ sở hệ thống TTNL cản nhớt được bố trí tùy thuộc vào kết cấu của công trình.

Bộ TTNL cản nhớt thường được dùng để tiêu hao năng lượng có dạng như trên hình 1.1. Bộ TTNL cản nhớt bao gồm một piston và xy lanh. Giả thiết là xy lanh cố định, piston chuyển động với vận tốc V . Trên đầu piston có n lỗ nhỏ bán kính R_0 phân đều so với đường tâm của piston, được khoan nghiêng một góc α so với phương ngang.

Giữa đường kính của piston và đường kính trong của xy lanh có khe hở chiều dày $d = R_1 - R_2$. Với R_1 là đường kính trong của xy lanh, R_2 là đường kính của đầu piston.



Hình 1.1. Bộ TTNL cản nhót

Khi có lực F tác động bên ngoài sẽ gây ra áp suất P_2 ở khoang phải của xy lanh lớn hơn áp suất P_1 ở khoang trái của xy lanh khiến cho chất cản nhót chảy qua khe và lỗ từ phải sang trái. Trong trường hợp dòng chảy tầng và dừng, chất lỏng không nén được, công thức liên hệ giữa lực và chuyển dịch là $F = C\dot{x}$. Hệ số cản C đặc trưng cho tỷ lệ giữa lực và vận tốc phụ thuộc vào kết cấu của bộ cản nhót. Trong trường hợp chất lỏng chảy tầng và không nén được công thức của hệ số C như sau:

$$C = f(A, \Pi_1, \Pi_2) \quad (1.1)$$

trong đó,

- A là diện tích của piston
- Π_1, Π_2 là các hàm phụ thuộc thông số của khe, lỗ...
- f là hàm số cần xác định.

Bộ TTNL cản nhót có thể tiêu tán nhiều năng lượng mà không làm tăng nhiều ứng suất kết cấu. Nguyên nhân là do lực của bộ cản nhót sinh ra phụ thuộc mạnh vào vận tốc chứ không phụ thuộc vào chuyển dịch. Nếu ta xét một tòa nhà dao động do gió. Rõ ràng khi tòa nhà đạt được biên độ lớn nhất thì ứng suất trong tòa nhà lớn nhất. Khi đạt được biên độ lớn nhất thì vận tốc bằng không và lực do bộ cản nhót tác dụng vào kết cấu là bằng không, ứng suất kết cấu không tăng tại vị trí này. Khi kết cấu về vị trí cân bằng thì lực do bộ TTNL cản nhót mới tăng đến cực đại do vận tốc ở cân bằng là lớn nhất. Lúc đó thì ứng suất kết cấu lại cực tiểu. Kết luận ở đây là bộ TTNL cản nhót chỉ sinh lực lớn vào kết cấu khi ứng suất kết cấu nhỏ. Điều này không bao giờ có thể đạt được với cản nhót ma sát, kim loại hay đàn nhót vì các loại này luôn làm tăng ứng suất tại mọi vị trí. Như vậy, có thể khẳng định rằng đặc tính lệch pha giữa ứng suất và lực do bộ TTNL cản nhót sinh ra là ưu điểm quan trọng hàng đầu mà không loại bộ tiêu hao năng lượng nào khác có được.

Chi tiết về đặc trưng kỹ thuật lực-dịch chuyển của thit bị TTNL của Hãng Taylor được trình bày chi tiết trong Phần I mục 4e.

b. Xác định cơ chế hoạt động và vật liệu chế tạo của từng bộ phận thiết bị TTNL cản nhót

Các yêu cầu kỹ thuật của bộ tiêu tán năng lượng

Để giảm dao động một cách hiệu quả, các loại TTNL cần thỏa mãn một số yêu cầu kỹ thuật do thực tế đề ra. Một ưu điểm lớn của bộ TTNL dùng nguyên lý cản nhót chất lỏng so với các loại khác là nó có thể thỏa mãn hầu hết các yêu cầu trong số đó. Các yêu cầu do thực tế đòi hỏi gồm:

Đặc trưng động lực tốt

- Không tăng nhiều ứng suất của kết cấu
- Khả năng tiêu tán năng lượng càng lớn càng tốt (Khả năng tiêu tán năng lượng là năng lượng có thể tiêu tán khi lực lớn nhất do bộ TTNL sinh ra bị giới hạn ở một giá trị nào đó). Theo lý thuyết thì năng lượng tiêu tán được tính bằng diện tích phần giới hạn bởi đường cong đặc trưng lực - chuyển dịch.

Độ ổn định

- Đặc trưng động lực cần ổn định ở khoảng tần số kích động lên kết cấu
- Đặc trưng động lực phải ổn định với khoảng nhiệt độ biến thiên trong bộ TTNL cũng như nhiệt độ biến thiên của môi trường.

Khả năng chịu tải và tuổi thọ

- Khả năng chịu lực của bộ TTNL phải đáp ứng được yêu cầu thực tế
- Tuổi thọ của bộ TTNL (là số dao động do TTNL thực hiện cho tới khi bị phá huỷ một phần nào đó) phải đáp ứng được yêu cầu thực tế

Kích cỡ tương đối:

Kích cỡ tương đối của bộ TTNL so với kết cấu không được quá lớn và quá nặng.

Đặc trưng động lực tốt cho phép đạt được nhiều mục tiêu trong giảm dao động. Độ ổn định tốt cho phép bộ TTNL thích ứng được với các điều kiện thay đổi thường xuyên và cho phép tính toán thiết kế dễ dàng hơn. Khả năng chịu tải và tuổi thọ cao liên quan đến chi phí thay thế và bảo dưỡng. Kích cỡ bé liên quan đến chi phí lắp đặt, gia cố kết cấu và liên quan đến yêu cầu thẩm mỹ.

So sánh loại TTNL cản nhót với các loại TTNL khác

Xét về bản chất thì có 3 loại TTNL khác với TTNL cản nhót: TTNL kim loại, TTNL ma sát, TTNL đàn nhót. TTNL kim loại tiêu tán năng lượng qua tính dẻo của kim loại. TTNL ma sát tiêu tán năng lượng qua ma sát giữa bề mặt các vật rắn. TTNL đàn

nhót tiêu tán năng lượng qua tính đàn nhót của vật liệu (chẳng hạn nhựa, polime...). Sự so sánh giữa các loại TTNL sẽ được thực hiện lần lượt trên các yêu cầu kỹ thuật. TTNL có đặc trưng động lực rất tốt vì nó có thể tiêu tán nhiều năng lượng mà không làm tăng nhiều ứng suất kết cấu. Điều này tưởng chừng rất vô lý nhưng thực tế lại có thể đạt được. Nguyên nhân là do lực của TTNL sinh ra phụ thuộc mạnh vào vận tốc chứ không phụ thuộc vào chuyển dịch. Ta xét một toà nhà dao động do gió. Khi toà nhà đạt được biên độ lớn nhất thì ứng suất trong toà nhà lớn nhất. Khi đạt được biên độ lớn nhất thì vận tốc bằng không và lực do TTNL tác dụng vào kết cấu là bằng không, ứng suất kết cấu không tăng tại vị trí này. Khi kết cấu về vị trí cân bằng thì lực do TTNL tăng đến cực đại do vận tốc ở cân bằng là lớn nhất. Lúc đó ứng suất kết cấu lại cực tiểu. Kết luận ở đây là TTNL chỉ sinh lực lớn vào kết cấu khi ứng suất kết cấu nhỏ. Điều này không bao giờ có thể đạt được với TTNL ma sát, kim loại hay đàn nhót vì các loại này luôn làm tăng ứng suất tại mọi vị trí. Như vậy, có thể khẳng định rằng đặc tính lệch pha giữa ứng suất và lực do TTNL chất lỏng sinh ra là ưu điểm quan trọng hàng đầu mà không loại TTNL nào khác có được.

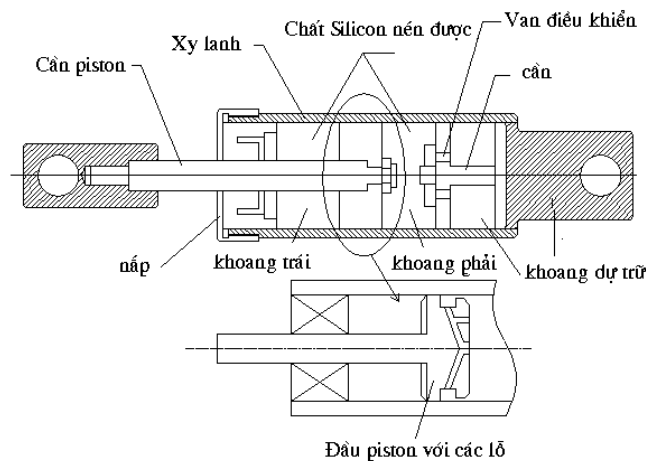
Độ ổn định với tần số của TTNL chất lỏng có được nhờ các đặc tính của chất lỏng. Độ ổn định nhiệt của TTNL có được nhờ các cơ cấu điều nhiệt đặc biệt (sẽ được phân tích sau). Trong khi đó, việc thiết kế những cơ cấu điều nhiệt với các TTNL khác là rất khó do bản thân cấu tạo của chúng không cho phép. Tuổi thọ của TTNL hiện nay có thể đạt được hàng chục năm do những tiến bộ mạnh trong công nghệ chế tạo vật liệu làm gioăng, phốt. Trong khi đó, tuổi thọ của TTNL kim loại kém do hiện tượng mỏi, tuổi thọ TTNL ma sát kém do hiện tượng mài mòn. Về khả năng sinh lực, TTNL, TTNL ma sát và TTNL kim loại có khả năng chịu lực cao. Còn TTNL đàn nhót chỉ chịu được lực tương đối bé, vì thế khi áp dụng loại này phải sử dụng với số lượng rất nhiều (hàng nghìn). Kích cỡ của các loại TTNL đều nhỏ gọn. Qua các so sánh trên, rõ ràng ta thấy TTNL là loại có hiệu quả, đạt được nhiều yêu cầu kỹ thuật nhất. Vấn đề còn lại là giá cả. Thường TTNL có cấu tạo phức tạp nên đắt hơn các loại TTNL khác. Tùy theo bài toán chi phí hiệu quả mà ta lựa chọn các loại TTNL.

Trên hình 1.2 trình bày một mô hình thiết bị TTNL không cần sử dụng khoang dự trữ. Có hai bộ gioăng phốt động lực ở hai đầu. Ngoài ra cũng có loại thêm một khoang chứa để cho phép sự thay đổi thể tích chất lỏng khi cần pittông di chuyển.

Các bộ phận chính gồm có:

- Chất lỏng trong xy lanh tốt nhất là các sản phẩm thuộc họ dầu Silicon. Chúng có khả năng nén được tốt hơn dầu nhót thông thường và có độ nhót ổn định khi nhiệt độ thay đổi. Dầu Silicon thông thường có độ nén thể tích khoảng 9% đến 11% tại áp suất 138MPa. Ngoài ra dầu Silicon còn có một số tính chất rất tốt như: hoàn toàn không độc, không cháy, không phản ứng hoá học và không bị lắng cặn. Đặc tính không lắng cặn giúp cho chuyển động qua lại của pittông được dễ dàng.

- Xylanh để chứa chất lỏng. Xylanh làm bằng thép không gỉ và phải có cấu tạo liên tục, không có các mối hàn hoặc tán. Xylanh được thiết kế để chịu áp suất cao và có hệ số an toàn 2. Một hoặc hai đầu của xylanh có gioăng động lực và có đầu nối để kết nối với kết cấu qua bộ kết nối.
- Cần pittông đòi hỏi được đánh bóng cao do phải trượt trên gioăng. Người ta có thể còn mạ crôm để phù hợp với gioăng. Cần pittông có hình dạng mảnh và phải chịu lực lớn nên thường làm từ thép cường độ cao. Mọi hiện tượng rỉ của cần pittông là không được phép vì sẽ phá hỏng gioăng.



Hình 1.2. Sơ đồ cấu tạo bộ TTNL cần nhớt

- Đầu pittông tạo một khe hẹp có chủ ý giữa xylanh và pittông. Người ta cũng có thể thay thế khe này bằng các lỗ trong đầu pittông. Ở các khe này còn có thể thiết kế bộ van.
- Khoang chứa có thể chứa khí hoặc xốp để dự trữ chất lỏng. Trên vách khoang chứa có van điều khiển để điều khiển đóng mở khoang dự trữ.
- Gioăng động lực có phần tiếp xúc với thanh pittông cần được bố trí cấu tạo cẩn thận để tránh thoát chất lỏng ra ngoài. Với nhà sản xuất có công nghệ cao thì vật liệu được dùng có thể là polyme cường độ cao. Tuổi thọ của polyme cường độ cao có thể khá dài. Với những công nghệ thấp thì việc sử dụng nhựa đàn hồi truyền thống là có thể chấp nhận được. Tuy nhiên, nhựa đàn hồi phải được thay thế định kỳ.

Vật liệu và Yêu cầu chế tạo

Các thiết bị TTNL phải được thiết kế và chế tạo theo các bản vẽ cung cấp bởi nhà chế tạo và sẽ được cung cấp theo các chi tiết kỹ thuật sau: *Các phương pháp và vật liệu có thể chọn tương đương với tiêu chuẩn của các hãng sản xuất trên*

thể giới nếu nhà chế tạo giải trình bằng các mô tả hoàn chỉnh và số liệu thử nghiệm đạt yêu cầu.

Các chi tiết kim loại phải chiếu theo bảng sau:

Các vật liệu kim loại - Thép	
Vật liệu	Đặc điểm kỹ thuật
Thép thanh, thép tấm, thép hình	ASTM Designation: A 709, grade 36, 50, or 50W A 575, A 576 (AISI or M Grades 1016 through 1030 except Grade 1017) A 570, A 572 A 572 Grade 50
Thép làm chốt cho các ứng dụng sau: Bulông và đinh tán bao gồm cán có ren và bulông neo không nhiệt luyện. Đai ốc Vòng đệm và các chi tiết ứng dụng chung	ASTM Designation: A 307; F 568 Class 4.6 A 108 AASHTO Designation: M 314, Grade 36 or 55 ASTM Designation: A 563 including Appendix X1; A 563M including Appendix X1 Commercial quality
Thép làm chốt cường độ cao: Bulông tại điểm nối của kết cấu thép Bulông và đinh tán bao gồm cán có ren và bulông neo không nhiệt luyện cho các ứng dụng chung	ASTM Designation: A 325; A 325M ASTM Designation: A 449; F 568, Class 9.8 (M1.6-M14), Class 8.8 (M16-M72), Class 8.8.3 (M16-M36) ASTM Designation: A 563 including Appendix X1; A 563M including Appendix X1 ASTM Designation: F 436; F 436M

Các vật liệu kim loại - Thép	
Vật liệu	Đặc điểm kỹ thuật
Đai ốc Vòng đệm	
Thép thanh và thép tấm không gỉ	ASTM Designation: A 240, Type 304 or 316
Thép làm chốt không gỉ cho các ứng dụng chung: Bulông, đinh vít, đai ốc và đinh tán gồm có cán có ren và bulông neo không nhiệt luyện Vòng đệm	Alloys 304, 316 ASTM Designation: F 593; F 738M ASTM Designation: A 240; ANSI B 18.22M
Thép Carbon đúc	ASTM Designation: A 27/A 27M, Grade 65-35 [450-240], Class 1
Thép rèn được	ASTM Designation: A 47, Grade 32510; A 47M, Grade 22010
Gang xám đúc	ASTM Designation: A 48, Class 30B
Gang dẻo đúc	ASTM Designation: A 536, Grade 65-45-12
Ống thép đúc	Commercial quality standard soil
Ống thép	ASTM A 53 Type E or S
Kim loại tấm	A 570
Thép rèn dập	ASTM designation: A 668 Class C(Carbon), Class G(Alloy)
Mạ điện, mạ kẽm	ASTM A 123, A 153

Các vật liệu không chứa sắt	
Vật liệu	Đặc điểm kỹ thuật
PTFE hoặc tương đương	ASTM D 1457
Đàn hồi và làm kín	ASTM D 4014
Đồng đúc	ASTM B 22
Hợp kim đồng	ASTM B 100

- Mỗi hàn phải tuân thủ theo yêu cầu của AWS D1.1. Mỗi hàn thép không gỉ phải được thực hiện tại phân xưởng trang bị có sử dụng điện cực hàn bằng thép không gỉ.
- Các bộ phận làm kín bên ngoài hoặc đàn hồi bên ngoài của tất cả các thiết bị không được bộc lộ vết nứt khi kiểm định ozone tại 20% biến dạng, 100 giờ, $104^{\circ} \pm 3.6^{\circ}$ F theo ASTM Designation: D 1149.
- Các thiết bị tiêu tán năng lượng phải được đánh số cho từng thiết bị. Các số phải bao gồm lô của sản phẩm, ngày chế tạo, lực thiết kế, và số của thiết bị.
- Các thiết bị tiêu tán năng lượng phải được lắp ráp tại nhà máy. Nó cũng phải có thể tháo rời trong quá trình kiểm định bộ phận. Do đó các bộ phận có thể phải được đánh số như trên bản vẽ chế tạo để có thể lắp lại hoàn chỉnh như cũ.
- Nhà chế tạo phải cung cấp toàn bộ các bản vẽ chế tạo, vật liệu, yêu cầu kỹ thuật chất lượng. Tất cả các kiểm định phải được báo cáo cụ thể bởi người thực hiện kiểm định.

2. Xây dựng các số liệu đầu vào cho việc chế tạo thiết bị TTNL áp dụng cho cầu Ngòi Lăn (Yên Bái)

a. Mô hình tính toán của dây cáp cầu Ngòi Lăn

Cầu treo dây văng (còn gọi là cầu treo dây xiên) là dạng cầu treo có dầm cứng kết hợp cùng làm việc với các dây treo xiên (dây văng). Trong kết cấu dạng này dầm chủ làm việc chủ yếu là chịu uốn và các dây văng chịu kéo, các dây này xuất phát từ các điểm trên đỉnh tháp và liên kết với dầm chủ tại một số điểm tạo thành các gối đàn hồi. Cáp sử dụng trong cầu treo là cáp cường độ cao có giới hạn bền từ 15.000 kg/cm² đến 18.000 kg/cm², sự có mặt của các dây cáp này cho phép điều chỉnh trạng thái ứng suất - biến dạng của hệ trong quá trình thi công sao cho có lợi cho trạng thái ban đầu của cầu và quá trình khai thác sau này.

Cầu treo dây văng là kết cấu cầu vượt sông khẩu độ lớn có kiến trúc đẹp, tải trọng bản

thân nhỏ, có khả năng thi công không cần đà giáo, tận dụng được khả năng làm việc của vật liệu. Cầu treo dây văng đã được thiết kế và xây dựng nhiều ở nước ngoài từ giữa thế kỷ 20 và hiện nay dạng kết cấu cầu này cũng đang được phát triển ở Việt Nam. Cầu treo dây văng đầu tiên do các kỹ sư cầu Việt Nam thiết kế và thi công đầu tiên là cầu Đakrông sử dụng dầm chủ 4I910 và cáp văng là cáp mềm, sau trên 20 năm khai thác cầu này đã bị hỏng do gỉ đứt cáp chủ. Cầu treo Đakrông đã được Tổng Công ty (TEDI) thiết kế lại và đã thi công xong. Gần đây nhiều cầu treo dây văng đã được xây dựng như cầu Sông Hàn (nhịp thông thuyền), cầu Mỹ Thuận, cầu Kiên (đây là các cầu treo dây văng lớn do nước ngoài thiết kế và đã được thi công tại Việt Nam), các cầu trong khuôn khổ dự án xây dựng cầu treo dây văng phục vụ cho phát triển giao thông nông thôn (do Việt Nam thiết kế và thi công) như cầu Bến Cốc (Hà Tây), cầu Thác Giềng (Bắc Cạn), cầu Quang Hiến (Thanh Hoá), cầu Ngòi Lăn (Yên Bái),..

Thi công cầu treo dây văng phức tạp hơn so với các loại cầu khác vì công việc thi công có nhiều hạng mục phải làm việc trên cao, việc tính toán và điều chỉnh nội lực trong cáp văng trong quá trình thi công là việc khó, trang thiết bị phù hợp của các đơn vị thi công chưa đầy đủ, kinh nghiệm tính toán, thiết kế và thi công loại cầu này của các kỹ sư Việt Nam còn chưa nhiều.

Các cầu treo do Việt Nam thiết kế và thi công nói chung tải trọng khai thác không lớn (chỉ đến tải trọng H13), nhiều bước thi công còn chưa phù hợp với thiết kế (chẳng hạn việc so dây trước khi căng kéo, quá trình căng kéo cáp văng, kiểm soát lực căng trong cáp thực hiện chưa tốt) do đó còn nhiều vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu trong thiết kế, thi công và quản lý khai thác đối với loại cầu này.

Khái quát về cầu Ngòi Lăn

Cầu Ngòi Lăn nằm trên tuyến đường Lục Yên đi Thác Bà, thuộc địa phận xã Xuân Long, Huyện Yên Bình, tỉnh Yên Bái. Trong khuôn khổ dự án xây dựng cầu dây văng phục vụ cho phát triển giao thông nông thôn Cầu Ngòi Lăn đã được thi công và đưa vào sử dụng từ năm 2003. Cầu Ngòi Lăn do Công ty Tư vấn xây dựng Thăng long (thuộc Tổng Công ty Xây dựng Thăng long) thiết kế, Công ty Cơ khí Xây dựng Công trình giao thông 121 (thuộc Tổng Công ty Xây dựng Công trình giao thông 1) thi công. Cầu Ngòi Lăn có các thông số kỹ thuật chính sau:

- Quy mô xây dựng: bán vĩnh cửu.
- Tải trọng thiết kế: H10
- Cầu gồm 3 nhịp, bố trí theo sơ đồ: 22,5 + 57 + 22,5 m
- Khổ cầu: B= 4,00 m
- Mặt cầu: Bản BTCT lắp ghép
- Dầm chủ, tháp cầu: sử dụng thép hình I500 tổ hợp.

- Chiều cao tháp tính từ bệ trụ: 15,3 m
- Dây văng: bó cáp $\phi 15,2$ mm
- Sông không thông thuyền, có cây trôi.
- Thuỷ văn: Mực nước cao nhất : +8,21m, vận tốc lớn nhất $V_{max} = 3$ m/s.
- Quy trình thiết kế: Quy trình thiết kế cầu cống theo trạng thái giới hạn 22TCN-18-79 do Bộ GTVT ban hành năm 1979
- Sơ đồ cầu xem trong bản vẽ: Bố trí chung toàn cầu

Kết cấu phần dưới

Cấu tạo

- Bệ móng các mố M0, M3 và các trụ T1, T2 bằng BTCT đặt trên hệ cọc BTCT M300# 35 x 35 cm
- Trụ T1, T2 là trụ thân đặc, mỗi trụ đặt trên hệ cọc gồm 21 cọc BTCT 35 x 35 cm, chiều dài cọc $L = 8.57$ m . Cao độ đáy bệ +6,7m, cao độ mũi cọc -1,87m. Bê tông thân trụ và bệ trụ có mác M200#, xà mũ trụ có mác M300#.
- Mố M0, M3 là mố chân dè dùng BTCT mác M300# và M200# đặt trên 12 cọc BTCT 35 x 35 cm, chiều dài cọc $L=8.57$ m.
- Cấu tạo và các kích thước chính của kết cấu phần dưới thể hiện trong các bản vẽ bố trí chung mố M0 và M3, bố trí chung trụ T1, T2.

Công tác thi công

- Trình tự thi công:
 - Thi công mố M3
 - Thi công trụ T2
 - Thi công trụ T1
 - Thi công mố M0
- Các mố, trụ đều được thi công theo các bước chính sau:
 - Chuẩn bị mặt bằng
 - Dựng búa và đóng cọc mố, trụ
 - Đổ bê tông bệ, thân, xà mũ mố, trụ.
 - Hoàn thiện

Kết cấu phần trên

Cấu tạo

- Tháp cầu được ghép từ 2 thanh thép hình chữ H (loại Checkered H- Beam) chiều cao tháp tính từ mặt bệ trụ là 15,3 m. Các chỉ tiêu kỹ thuật chính:
 $H=500\text{mm}$, $B=300\text{mm}$, $d=11\text{mm}$, $t=18\text{mm}$, $J_x= 71000 \text{ cm}^4$, $J_y=8110 \text{ cm}^4$
- Trong quá trình thi công sử dụng 2 trụ tạm bố trí ở nhịp giữa.
- Hệ dầm chủ dùng 4 thanh thép hình I500, bố trí mỗi bên 2 thanh.
- Dầm ngang dùng thép hình I400, bố trí một khoang đầu cách nhau 2,32 m, một

- khoang tiếp theo cách nhau 2,5m, còn lại cứ 4,0m lại có một dầm ngang theo suốt chiều dài cầu. Giằng gió dùng thép góc L100x10
- Nối cáp với hệ dầm chủ là hệ gồm 32 dây cáp thép cường độ cao, dùng hai loại bó cáp: loại 12 tao (dùng cho 2 dây văng nối từ đỉnh tháp đến chân mố) và loại 7 tao (các dây văng còn lại), đường kính mỗi tao là 15,2 mm. Neo của dây văng dùng neo OVM của Trung Quốc sản xuất, gồm hai loại neo tương ứng với bó cáp 12 tao và 7 tao.
 - Mặt cầu là bản BTCT lắp ghép, chiều dày bản trung bình là 22,4 cm đặt trên hệ dầm ngang. Lớp phủ mặt cầu dùng bê tông hạt mịn lưới thép, chiều dày lớp phủ là 80 mm.
 - Cấu tạo và các kích thước chính của kết cấu phân trên thể hiện trong các bản vẽ kèm theo.
 - Khối lượng vật liệu kết cấu phân trên cho trong bảng 1.

Công tác thi công.

- Do yêu cầu chính xác và cần chuyên môn hoá, kết cấu phân trên được sản xuất, lắp ráp thử và xử lý các trường hợp sai sót tại xưởng sản xuất của công ty 121, sau đó các bộ phận này được chuyên chở tới công trường cầu Ngòi Lăn. Đối với quang treo và neo đã tiến hành thí nghiệm khả năng chịu lực của các bộ phận này trước khi lắp ráp lên cầu.
- Trình tự thi công kết cấu phân trên:
 - Lắp dựng tháp cầu và hệ thống dầm dọc, dầm ngang, giằng gió.
 - Lắp hệ thống dây văng và tiến hành căng kéo điều chỉnh nội lực.
 - Lắp bản mặt cầu
 - Thi công lan can và lớp phủ mặt cầu
 - Hoàn thiện

Công nghệ thi công căng kéo cáp văng

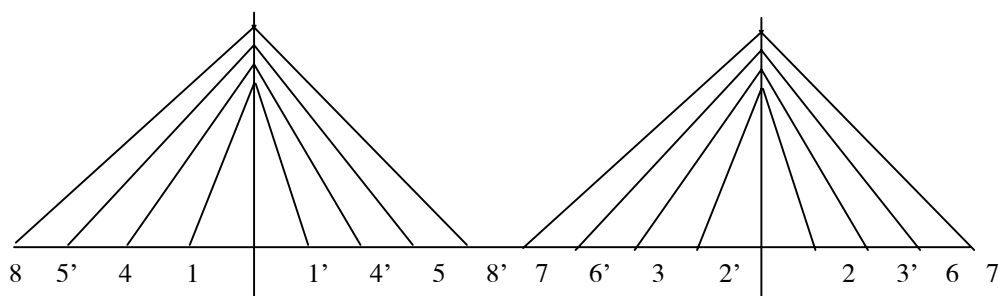
Cấu tạo

- Số lượng, kích thước của từng cụm dây văng thể hiện trong các bản vẽ phân kết cấu trên.
- Trước khi căng kéo dầm được neo cố định trên mố, trụ và kê trên các trụ tạm, trong đó điểm kê trên các trụ tạm không cản trở dầm tự do tách khỏi trụ tạm, sau khi dầm tách khỏi trụ tạm thì trụ tạm sẽ được bỏ đi.

Công tác căng kéo các dây văng

- Các dây văng được lắp theo từng đôi một trước khi căng kéo.
- Lắp đặt sàn đạo tại các vị trí quang treo để thi công lắp các đầu neo và để căng kéo dây văng.
- Lắp đặt neo và căng so dây bằng kích đơn, sau khi các dây đã được căng tương đối đồng đều thì bắt đầu căng kéo cả bó.
- Trình tự căng kéo và lực căng trong dây.

Quá trình căng kéo sử dụng đồng thời 2 kích cho mỗi bên, sơ đồ đánh số dây thể hiện trên hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ đánh số dây

Trình tự căng kéo theo các bước: 1,1',2,2',3,3',4,4',5,5',6,6',7,7',8,8'.

Trị số lực căng cho từng bước thi công cho trong bảng 2.1

Bảng 2.1: Trị số lực căng và độ co rút dây

Bước	Lực ban đầu (T)	Lực kéo dây (T)	Lực tổng cộng (T)	Chiều dài dây (m)	Độ co rút dây (cm)
1	0,79	2,96	3,75	13,52	4,4
1'	0,78	21,78	22,56	13,4	4,3
2	0,79	2,59	3,38	13,52	4,4
2'	0,78	23,29	24,07	13,4	4,3
3	1,46	14,82	16,28	18,3	7,2
3'	1,47	21,56	23,03	17,9	6,1
4	1,47	14,69	16,16	17,9	6,1
4'	1,46	18,96	20,42	18,3	7,2
5	2,15	11,96	14,11	22,3	8,3
5'	2,04	16,06	18,1	23,24	6,5
6	2,15	11,91	14,06	22,3	8,3
6'	2,04	8,59	10,63	23,24	6,5
7	2,82	5,54	8,36	28,58	7,5
7'	4,09	10,64	14,73	26,2	6,8
8	4,09	5,31	9,4	26,2	6,8
8'	2,82	5,92	8,74	28,58	7,5

Sau khi hoàn thành căng kéo tiến hành đóng neo và cắt cáp đầu neo, sau đó thi công bản mặt cầu, lớp phủ mặt cầu, hệ thống lan can...

Lực căng trong dây sau khi thi công bản mặt cầu

- Sau khi thi công căng kéo dây văng xong tiến hành thi công bản mặt cầu. Mặt cầu là bản BTCT lắp ghép, dày 22,4 cm, lớp phủ mặt cầu dày 80 cm.

- Trị số lực căng trong dây văng sau khi đổ bản mặt cầu cho trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Trị số lực căng trong dây văng

Dây	Lực ban đầu (T)	Lực kéo dây (T)	Lực tổng cộng (T)
1	3,75	13,1	16,85
1'	22,56	14,4	36,96
2	3,38	13,1	16,48
2'	24,07	14,4	38,47
3	16,28	29,5	45,78
3'	23,03	23,5	46,53
4	16,16	23,5	39,56
4'	20,42	25,9	46,32
5	14,11	33,6	47,71
5'	18,1	25,9	44,0
6	14,06	24,6	38,66
6'	10,63	33,6	44,23
7	8,36	29,7	38,06
7'	14,73	41,8	56,53
8	9,4	41,8	51,12
8'	8,74	29,7	38,44

Một số nhận xét về công tác thi công và hiện trạng khai thác cầu.

Như đã nêu trên việc thiết kế và thi công cầu dây văng ở Việt Nam đang ở những bước đầu do đó còn nhiều vấn đề tồn tại, ở đây chỉ nêu một số vấn đề liên quan đến công tác thi công căng kéo dây văng. Cụ thể như sau:

- Các dây trong từng cụm dây văng sau khi căng so dây có lực căng ban đầu không hoàn toàn đều nhau, do đó chúng chịu lực không đều sau khi căng kéo xong, có những sợi bị võng hơn những sợi khác rất đáng kể.

- Việc căng kéo dây văng không đúng như thiết kế, phụ thuộc nhiều vào khả năng về trang thiết bị của đơn vị thi công (như số lượng kích, khả năng kéo đồng bộ của hai cặp dây,...). Do đó không kiểm soát được lực căng trong dây và sai khác giữa tính toán và thực tế khá lớn, đôi khi sau khi quá trình căng kéo theo tính toán đã xong nhưng nhiều dây vẫn còn bị chùng phải căng bổ sung để đảm bảo dây đủ căng.

- Do chưa làm chủ được giai đoạn thi công căng kéo dây văng nên có cầu sau khi thi công xong độ võng thiết kế sai khác nhiều so với tính toán, hình dạng cầu không đảm bảo yêu cầu kiến trúc.

- Chiều dài dây văng từ đỉnh tháp đến mặt cầu khá lớn (từ 13,41 m đến 28,58m), hai đầu neo (trên đỉnh tháp và dưới mặt cầu) là các gối đàn hồi và cũng chịu ảnh hưởng của tác động của tải trọng ngoài tác dụng, hơn nữa lại chưa khống chế được lực căng quá trình căng kéo, không đảm bảo lực căng thiết kế trong dây, nên nhiều dây văng bị dao động với biên độ khá lớn dưới tác dụng của gió hay khi có xe chạy

qua vị trí dây, đặc biệt là những dây ở khu vực giữa của nhịp chính.

Bảng 2.3: Khối lượng kết cấu phần trên cầu Ngòi Làn

Bộ phận	Thép (kg)					Bu lông (kg)	Thép ống (kg)
	CĐC	AI		Bản	Hình		
Dầm chủ				8921	50463	2551	
Bệ đỡ neo				7688		367	
Gối cầu				873	886	644	
Mặt cầu		5471				255	
Tháp cầu				13570	13519	426	
Quang treo				9936			
Dây văng	5774						
Lan can			3613	149			3613
Bulông chốt					1049		
Neo	8x12 tao				56 x7 tao		
Tổng cộng	5774	5471	3613	41137	65917	4243	3613

b. Xác định tải trọng xe cộ tác động lên cầu dây văng

Tải trọng xe khi chuyển động trên cầu được mô tả như là tải trọng di động và được trình bày trong Phần II khi xây dựng phần mềm chống dao động và áp dụng tính toán cho cầu Bến Cốc.

Dao động dây cáp chịu lực từ môi trường thiên nhiên

Là một bộ phận quan trọng của cầu dây văng, các dây cáp phải trực tiếp chịu ảnh hưởng của tác động khí động từ môi trường, đồng thời cũng chịu ảnh hưởng tác động của lực kích động từ dầm chủ và tháp cầu. Dưới đây giới thiệu các loại dao động do các loại kích động tự nhiên khác nhau gây nên.

Dao động do gió

Tác động của gió lên dây cáp bao gồm nhiều loại. Nếu phương thức tác động không giống nhau, dây cáp cũng dao động khác nhau.

Dao động do gió xoáy

Khi luồng không khí đi qua một hình trụ sẽ sinh ra các xoáy đan xen nhau và ổn định ở phía sau hình trụ đó. Các xoáy đan xen này gây ra lực kích động mang tính chu kỳ lên dây cáp với tần số kích động đúng bằng tần số xoáy tính theo công thức sau:

$$N_s = S \cdot \frac{V}{D}$$

Trong đó:

N_s : Tần số tách xoáy (Hz)

D : Đường kính dây cáp (m)

V : Vận tốc gió (m/s)

S : Hệ số Strouhal (tiết diện tròn lấy 0.2)

Trong trường hợp tần số tách xoáy N_s xấp xỉ bằng một trong các tần số dao động tự do của dây cáp, dây cáp sẽ dao động với biên độ tương đối lớn. Loại dao động này được gọi là dao động cộng hưởng do gió xoáy.

Theo kết quả quan sát dao động dây cáp trên nhiều cầu dây văng khác nhau, có thể thấy rằng loại dao động cộng hưởng do gió xoáy này thường xảy ra khi vận tốc gió thấp (2~3m/s), và ảnh hưởng chủ yếu đến dạng dao động cấp cao (cấp 3~4).

Dao động do gió quẩn

Để có thể kéo dây cáp với lực, người ta thường áp dụng hình thức kết hợp hai sợi hay nhiều sợi cáp song song gần nhau (Ví dụ như cầu Vĩnh Hoà Thiên Tân, cầu Tế Nam Hoàng Hà, Cầu Oa Xá, Phong Đài Hoài Hà v.v.). Cáp nằm ở hướng gió dưới sẽ chịu ảnh hưởng của cáp ở hướng gió trên và dao động mạnh. Người ta gọi loại dao động này là dao động do gió quẩn. Theo các tài liệu báo cáo có liên quan của Nhật Bản, khi góc tạo bởi hướng gió và hướng thẳng đứng của trục tung của cầu nhỏ hơn 45° thì mới có thể sinh ra dao động do gió quẩn, cấp dao động thường là cấp 1. Khoảng cách giữa 2 sợi cáp là tham số chủ yếu ảnh hưởng đến dao động. Khi khoảng cách tâm của hai sợi cáp lớn gấp 4 lần đường kính cáp, dao động của cáp sẽ nhỏ. Và khi khoảng cách này lớn hơn 5 lần đường kính cáp thì sẽ không thể phát hiện được hiện tượng dao động do gió quẩn. Thí nghiệm ống khí động cho thấy, đại lượng không đơn vị vận tốc gió khi dao động do gió quẩn bắt đầu hình thành $U/(f_n D)$ là 25, tương ứng biên độ dao động gấp 2 lần đường kính cáp. Để ngăn chặn dao động do gió quẩn, lực cản của cáp phải đủ lớn (hệ số giảm $\delta > 0.05$, tỷ lệ cản > 0.008).

Dao động do mưa

Dao động do mưa xảy ra khi gió, mưa kết hợp cùng tác động lên dây cáp có lớp vỏ PE. Các nhà nghiên cứu Nhật Bản là những người đầu tiên phát hiện loại dao động này. Sau khi quan sát thực tế ở các cầu dây văng và tiến hành thí nghiệm hầm gió, có thể nêu lên các đặc điểm của loại dao động này như sau: tần số dao động dây cáp nhỏ hơn so với khi nó dao động do gió xoáy, nhưng biên độ dao động lại lớn hơn nhiều.

Nguyên do là nước mưa bám trên bề mặt dây cáp phía đón gió và việc hình thành dòng chảy ở biên dưới của cáp. Cần chú ý là mặt cắt tròn có nước bám là mặt cắt bất ổn định về khí động. Tuy nhiên cũng chỉ trong một số điều kiện nhất định mới xuất hiện loại dao động do gió, mưa kết hợp. Thông thường là: cáp có bề mặt trơn nhẵn, góc nghiêng giữa dây cáp và mặt phẳng ngang trong khoảng $20^\circ \sim 45^\circ$, góc giữa dây cáp với mặt phẳng đứng $20^\circ \sim 40^\circ$, hướng gió theo hướng nghiêng dây cáp, tần số dao động cơ bản của cáp khoảng $0.4 \sim 3\text{Hz}$, vận tốc gió trung bình từ $8 \sim 15\text{m/s}$, mưa nhỏ hoặc mưa vừa, bề mặt cáp dễ bị thấm nước v.v..

Ảnh hưởng của góc lệch đối với dao động dây cáp do gió, mưa kết hợp

Góc lệch càng lớn, tác dụng của dòng chảy dọc trục càng mạnh. Dưới tác động đồng thời của dòng chảy dọc trục và dòng trên, độ bất ổn định của mô hình cũng thay đổi theo phạm vi góc α , ban đầu thì nhỏ nhưng sau lớn dần.

Dưới tác dụng của dòng chảy dọc trục, dao động rất ít khi mất ổn định. Khi vận tốc gió kích động giảm xuống, trạng thái dao động ổn định được mở rộng.

Khi vận tốc gió dọc theo trục dây cáp đạt đến một giá trị nào đó, mặc dù không có dòng nước mưa chảy thì vẫn có thể gây ra được dao động của dây cáp, tuy nhiên với biên độ giới hạn.

Khi vận tốc gió dọc trục dây cáp dưới 10m/s , thì dao động của dây cáp là ổn định.

- Xoáy gió sau tháp

Theo chiều gió thổi dọc cầu, phía sau tháp sẽ hình thành vùng xoáy. Khi tần số xoáy xấp xỉ với tần số dao động cơ bản của dây cáp nào đó thì xuất hiện hiện tượng cộng hưởng do gió xoáy sau tháp trên dây cáp đó. Do độ cản của dây cáp rất nhỏ, khi cộng hưởng, biên độ dao động sẽ rất lớn.

Để biết được dao động của cáp có phải là do xoáy gió phía sau tháp gây ra hay không, cần phải phân tích hai điểm sau. Thứ nhất là hướng dao động của dây cáp. Do hướng kích động của xoáy gió vuông góc với hướng gió thổi và mặt phẳng của kết cấu sinh ra xoáy gió, cho nên dao động của cáp gây ra bởi xoáy gió sau tháp phải là dao động theo phương ngang. Tiếp đó, tính toán tần số xoáy gió cân bằng sau tháp dựa trên vận tốc gió và kích thước hình học của tháp. Nếu dao động của cáp theo phương ngang, mà tần số dao động của nó lại xấp xỉ tần số xoáy gió sau tháp, thì có thể kết luận đó là dao động do xoáy gió phía sau tháp gây ra.

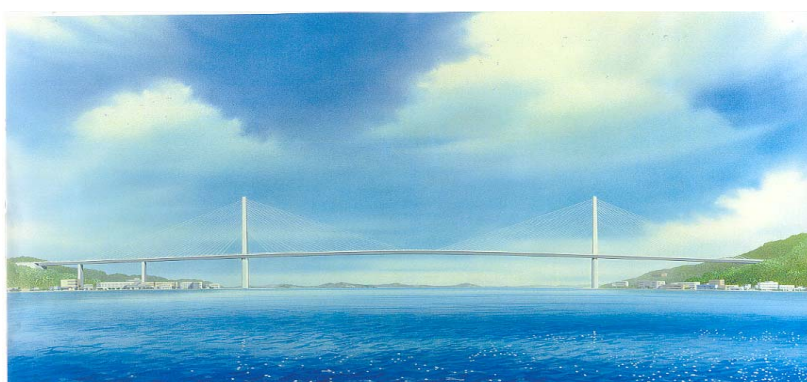
- Dòng chảy rối

Tác động của dòng chảy rối lên cáp là kích thích ngẫu nhiên của gió động lên dây cáp. Loại kích thích này thường là quá trình ngẫu nhiên, cũng có thể là một quá trình ngẫu nhiên dải hẹp gần giống với dao động tuần hoàn có chu kỳ. Đối với dây cáp mà

nói, vì năng lượng của dòng chảy rối mang tính phi chu kỳ, do đó thường không xuất hiện dao động cộng hưởng mà chỉ xuất hiện các dao động tắt dần với biên độ rất nhỏ.

c. Tính toán dao động dây văng để xác định năng lượng dao động lớn nhất của dây cáp

Trong những năm gần đây việc xây dựng cầu dây văng đã trở nên phổ biến ở Việt Nam. Loại cầu này hứa hẹn nhiều ưu điểm vượt trội. Do độ cản nhỏ và cấu trúc mảnh của các sợi cáp nên dưới tác dụng của tải trọng như chuyển động các đoàn xe, gió hay mưa gió kết hợp, biên độ dao động của dây cáp khá lớn. Để giảm những dao động không mong muốn này, ta có thể lắp đặt các thiết bị hao tán năng lượng kiểu thụ động, tích cực hay nửa tích cực vào gần đầu dây tại phía nối với mặt cầu. Ở đây, chúng tôi đề cập tới một số tính toán dao động của dây cáp có gắn bộ cản nhớt tuyến tính và phân tích chi tiết một số vấn đề về động lực học của hệ dây có gắn bộ cản nhớt. Việc xây dựng các cầu dây văng trở nên rất thịnh hành. Loại kết cấu cầu này có nhiều ưu điểm vượt trội như tính kinh tế, thẩm mỹ. Trên hình 2.2 là hình ảnh của chiếc cầu dây văng Bãi Cháy.



Hình 2.2. Cầu dây văng Bãi Cháy.

Vì các sợi cáp dùng trong cầu dây văng có độ cản thấp nên chúng dễ dàng bị kích thích dao động (Fujino [4], Yamaguchi và Fujino [11]). Bó cáp trong cầu dây văng được tạo nên từ những sợi cáp cường độ cao, nhưng khả năng tự làm giảm dao động rất thấp, độ cản thường chỉ vài phần nghìn. Cùng với đó, dây cáp lại có độ mảnh cao dẫn đến các kích động như tải trọng xe, mưa, gió... sẽ gây ra các dao động với biên độ lớn. Các tác giả Abdel-Ghaffar và Khalifa [1], Caetano [2, 3] đã chứng minh vai trò quan trọng của dao động cáp trong động lực học cầu dây văng. Do vậy, vấn đề điều khiển dao động của cáp trở thành mối quan tâm lớn khi thiết kế hoặc cải tạo cầu. Việc đo dao động trên một số cầu cho thấy biên độ dao động khá lớn có thể xuất hiện trên nhiều dạng dao động của cáp (Main và Jones [7]).

Với mục tiêu giảm những dao động không muốn do các loại kích động khác nhau gây nên, người ta lắp vào dây cáp các thiết bị tiêu tán năng lượng có dạng thụ động, tích cực hoặc bán tích cực (Premont [9]). Trong những năm gần đây xuất hiện những nghiên cứu dùng hệ thống tiêu tán năng lượng bằng lực ma sát, kim loại, chất lỏng nhớt, điều chỉnh khối lượng hoặc chất lỏng. Đặc trưng của các thiết bị này là khả năng tiêu tán năng lượng khi xuất hiện biến dạng hoặc chuyển động (Soong [10]). Năng lượng tiêu tán chuyển thành nhiệt năng hoặc có sự phân phối lại năng lượng giữa các dạng dao động. Dưới đây sẽ trình bày việc sử dụng thiết bị cản nhớt tuyến tính để giảm dao động cho cáp căng. Viện cơ học (IM) và Viện nghiên cứu cơ khí (NARIME) đã hợp tác chế tạo các mẫu thử của loại thiết bị trên.



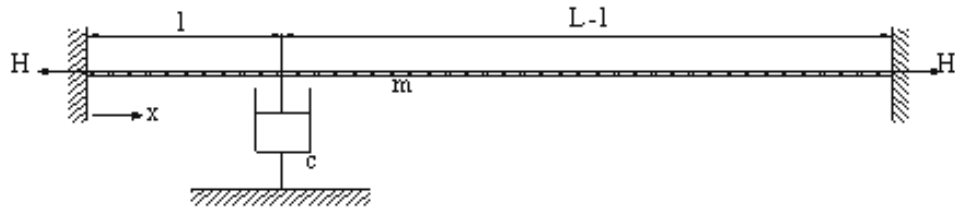
Hình 2.3: Mẫu thử thiết bị giảm chấn tuyến tính dùng chất lỏng nhớt.

Việc nghiên cứu động lực học hệ cáp - thiết bị cản nhớt tuyến tính đối với các dạng dao động khác nhau, độ cản và những điều chỉnh tối ưu. Chúng phụ thuộc vào những thông số sẽ được đề cập dưới đây. Kovacs [5] đã nghiên cứu dao động của cáp căng có gắn thiết bị giảm chấn tuyến tính dùng chất lỏng nhớt gắn vào gần cuối cáp. Sau đó, Krenk [6] đã mở rộng nghiên cứu này, ông dùng số sóng phức để tìm ra lời giải gần đúng đánh giá hiệu quả giảm chấn đối với các dạng dao động. Pachero et al. [8] đã tính toán số và vẽ các đường cong giảm chấn tương ứng. Việc chọn các thông số phù hợp rất quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả giảm dao động của loại thiết bị này, cụ thể: nếu lực cản nhớt quá lớn, nó sẽ khoá chặt dây cáp; và nếu lực này quá nhỏ, nó sẽ không đủ để tiêu tán năng lượng dao động. Cả hai trường hợp, hiệu quả giảm chấn đều thấp. Trong khoảng giữa hai giới hạn này cần tìm một giá trị trung gian tối ưu cho thiết bị giảm dao động ứng với dạng dao động nghiên cứu.

Phương trình chuyển động của dây cáp có gắn thiết bị giảm chấn

ở đây ta nghiên cứu bài toán một dây cáp có gắn bộ cản nhớt tuyến tính. Độ võng và độ cứng của dây cáp nhỏ và được bỏ qua, mô hình hệ là một sợi dây thẳng với giả

thiết biên độ dao động của dây bé, lực căng dây lớn hơn nhiều so với trọng lượng của dây. Hình 2.4 mô tả hệ dây hai đầu cố định, gắn một cản nhớt có hệ số cản c .



Hình.2.4. Mô hình dây cáp có gắn cản nhớt.

Dao động ngang của hệ dây - cản nhớt tuyến tính được cho bởi phương trình đạo hàm riêng

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - H \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = c \frac{\partial u(l, t)}{\partial t} \delta(x - l) \quad (2.1)$$

Trong đó $u(x, t)$: độ võng ngang, m : khối lượng của 1 đơn vị chiều dài, H : thành phần nằm ngang của lực căng cáp, x : toạ độ dọc theo trục cáp và $\delta(x)$: hàm Dirac. Dùng phương pháp tách biến số để tìm nghiệm phương trình (2.1) ta có:

$$u(x, t) = X(x)T(t) \quad (2.2)$$

Thay (2.2) vào (2.1) ta được

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \eta^2 T = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{m}{H} \eta^2 X = 0, \quad 0 \leq x \leq L, x \neq l \quad (2.4)$$

Có thể thấy rằng phương trình (2.4) đúng tại mọi điểm $x \in L$ ngoại trừ điểm đặt thiết bị giảm dao động $x=l$. Tại đây, tính liên tục của chuyển vị và điều kiện cân bằng lực phải được thoả mãn. Ta nhận được từ (2.3), (2.4)

$$T(t) = e^{i\eta t} \quad (2.5)$$

và

$$X(x) = \begin{cases} A \sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} x, & 0 \leq x \leq l \\ B \sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L - x), & l \leq x \leq L \end{cases} \quad (2.6)$$

Theo điều kiện về tính liên tục của chuyển vị tại điểm đặt thiết bị giảm chấn, ta có

$$A = \frac{X(l)}{\sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} l}, \quad B = \frac{X(l)}{\sin \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l)} \quad (2.7)$$

Sử dụng điều kiện về cân bằng lực tại điểm này sẽ suy ra

$$H \left(\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l+} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l-} \right) = c \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} \quad (2.8)$$

Ta được phương trình xác định tần số η (Krenk, [6])

$$A \cos \eta \sqrt{\frac{m}{H}} l + B \cos \eta \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l) = -\frac{icX(l)}{\sqrt{mH}} \quad (2.9)$$

Đưa vào sử dụng hai thông số không thứ nguyên

$$\theta = \frac{c}{\sqrt{mH}}, \quad k = \frac{\eta}{\omega_1^0} \quad (2.10)$$

Với ω_1^0 - tần số dao động tự do cơ bản. Ta có tỉ số giảm chấn và tần số của hệ có gắn thiết bị giảm chấn ξ , ω :

$$\xi = \frac{\text{Im}(k)\omega_1^0}{\omega}, \quad \omega = \omega_1^0 \sqrt{\text{Im}(k)^2 + \text{Re}(k)^2} \quad (2.11)$$

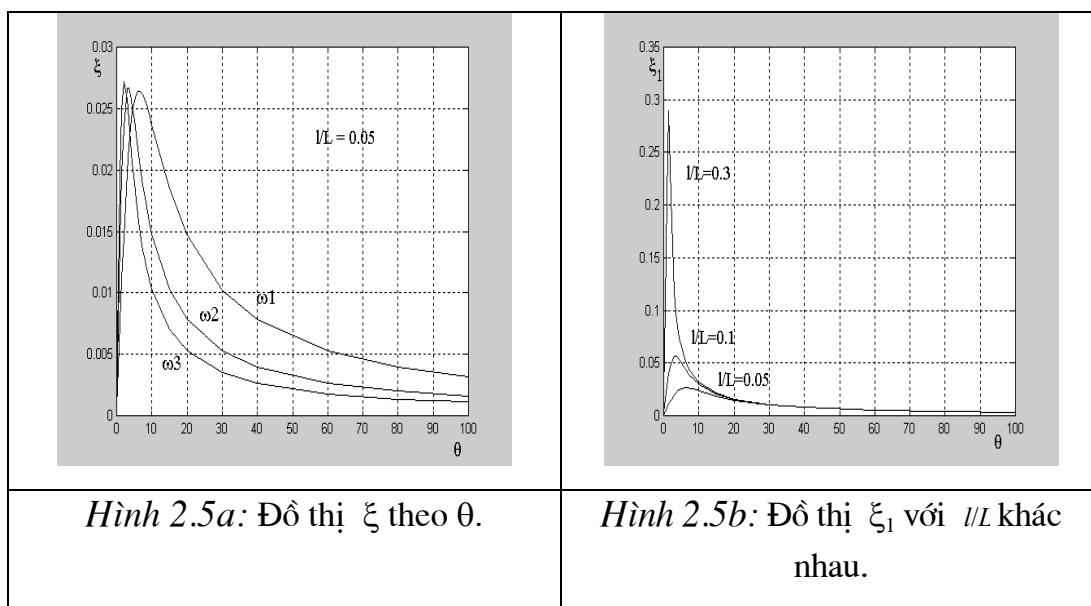
Với mỗi giá trị cho trước l/L và θ ta nhận được các tỉ số giảm chấn và các tần số dao động ứng với các dạng dao động khác nhau, qua đó nghiên cứu tính chất của chúng biến thiên theo l/L và θ :

$$\xi = \xi\left(\frac{l}{L}, \theta\right), \quad \omega = \omega\left(\frac{l}{L}, \theta\right) \quad (2.12)$$

Vài tính chất của các tỉ số cản và các tần số dao động của hệ dây có gắn cản

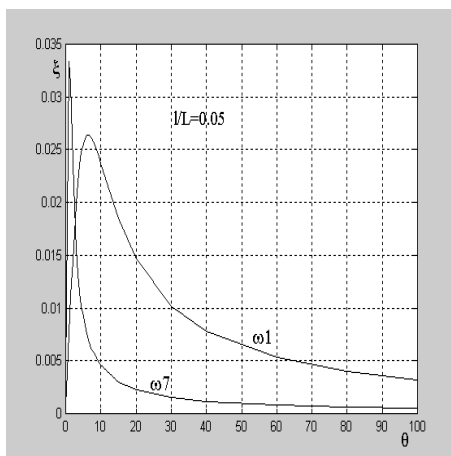
Vị trí đặt cản cố định

Ta xét trường hợp khi vị trí gắn thiết bị cản nhót đã biết. Hình 2.5a mô tả sự phụ thuộc của tỉ số giảm chấn ξ vào giá trị θ tương ứng với ba dạng dao động đầu tiên trong khoảng $\theta = [0,100]$ và với tỉ số $l/L = 0.05$. Hình 2.5b trình bày ba đường cong của tỉ số giảm chấn thứ nhất ξ_1 tương ứng với ba vị trí khác nhau của thiết bị giảm chấn: $l/L = 0.05, 0.1, 0.3$. Ta nhận thấy ban đầu tỉ số cản của mỗi dạng dao động tăng cùng với sự tăng của θ . Chúng gần như đạt cùng một giá trị cực đại nhưng ứng với các giá trị θ khác nhau, xem bảng 2.4. Hình 2.5(a,b,c) cũng cho thấy rõ hiệu ứng điều chỉnh của tỉ số cản và hơn nữa, hiệu quả giảm chấn tăng theo tỉ số l/L . Hình 2.5c thể hiện rõ tỉ số cản tăng lên ở các dạng dao động cao, xem bảng 2.4.

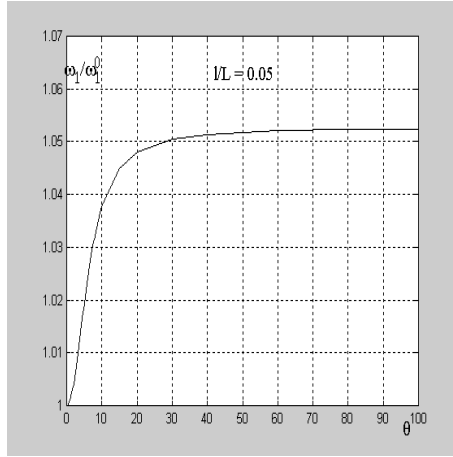


Bảng 2.4: Tỷ số cực đại.

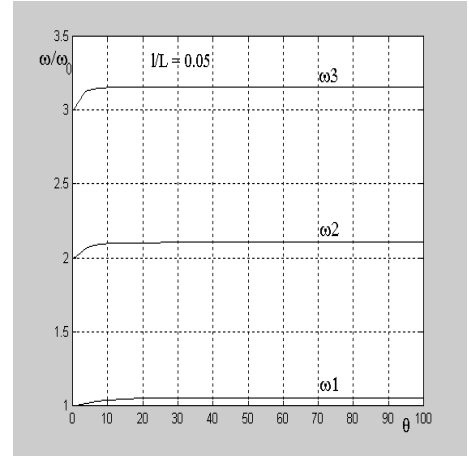
θ	6.45	3.25	2.25
ξ	$\xi_{1\max} = 0.0264$	$\xi_{2\max} = 0.0267$	$\xi_{3\max} = 0.0272$



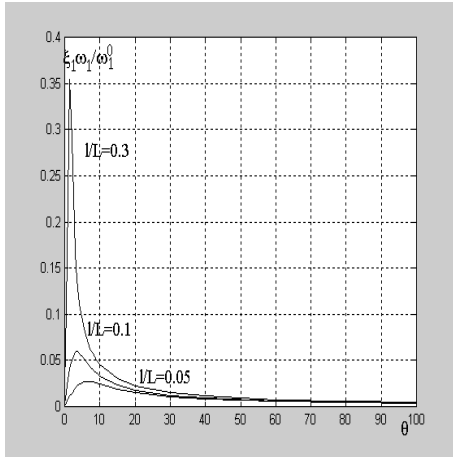
Đồ thị của tần số khi có cản không thứ nguyên ω/ω_1^0 và hệ số cản $(\xi\omega)/\omega_1^0$ theo θ được mô tả trong hình 2.6(a, b) và 2.7(a, b).



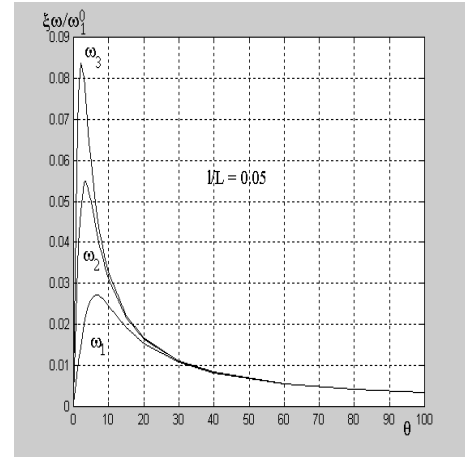
Hình 2.6a: Đồ thị tần số có cản không thứ nguyên thứ nhất ω_1 / ω_1^0 theo θ .



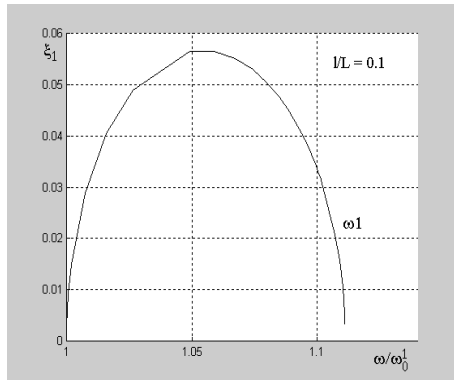
Hình 2.6b: Đồ thị các tần số có cản không thứ nguyên ω / ω^0 theo θ .



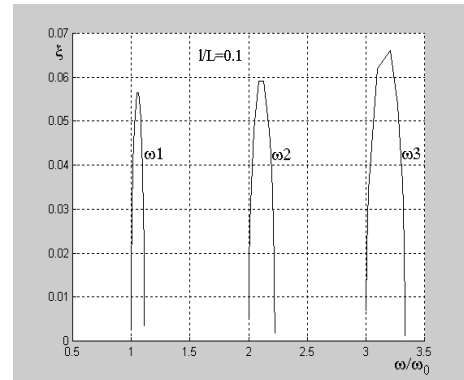
Hình 2.7a: Đồ thị hệ số cản không thứ nguyên thứ nhất $(\xi_1 \omega_1) / \omega_1^0$ với l/L khác nhau.



Hình 2.7b: Đồ thị các hệ số cản không thứ nguyên $(\xi \omega) / \omega_1^0$ theo θ



Hình 2.8a: Đồ thị ξ_1 theo ω / ω_1^0 .

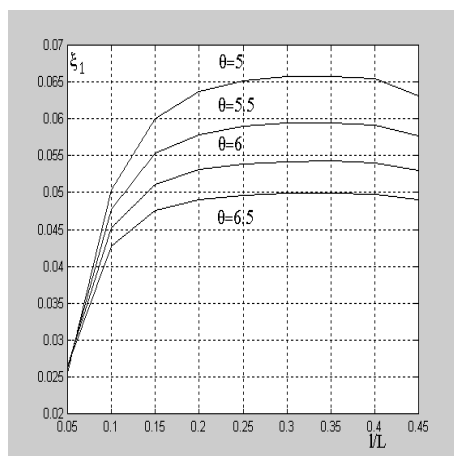


Hình 2.8b: Đồ thị ξ ω / ω^0 .

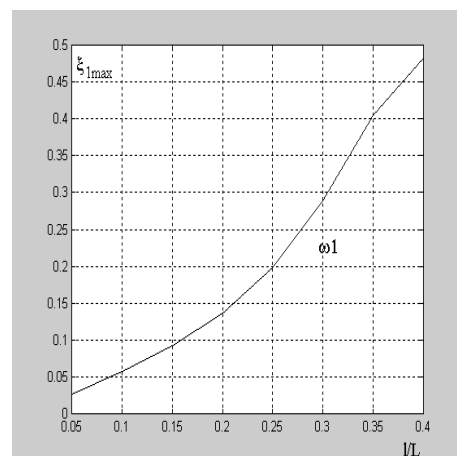
Hình 2.8(a, b) mô tả đồ thị của tỉ số cản ξ theo tần số có cản không thứ nguyên ω/ω^0 . Chúng cho thấy mối quan hệ giữa tỉ số cản với tần số có cản.

Hệ số thiết bị cản nhót cố định

Mục này, thông số θ được cho trước. Hình 2.9 mô tả sự biến đổi của tỉ số cản thứ nhất ξ_1 theo vị trí lắp đặt thiết bị cản nhót $l/L = [0.05-0.45]$ và với những giá trị hệ số thiết bị cản nhót khác nhau θ . Có thể thấy ξ_1 cũng đạt cực đại khi tỉ số l/L vào khoảng 0.34. Đồ thị các giá trị cực đại của tỉ số cản thứ nhất $\xi_{1\max}$ ($\xi_1 \rightarrow \max_\theta$) theo l/L được vẽ trên hình 2.10.



Hình 2.9: Tỉ số cản thứ nhất ξ_1 theo l/L

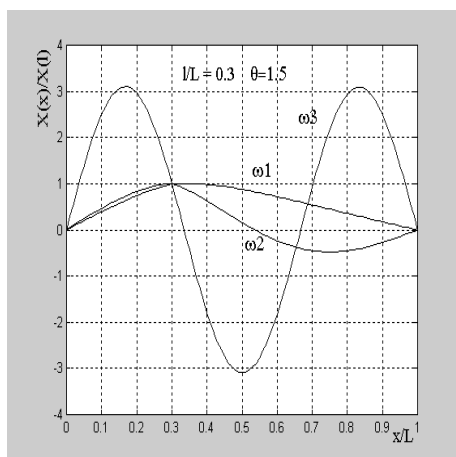


Hình 2.10: Đồ thị $\xi_{1\max}$ theo l/L .

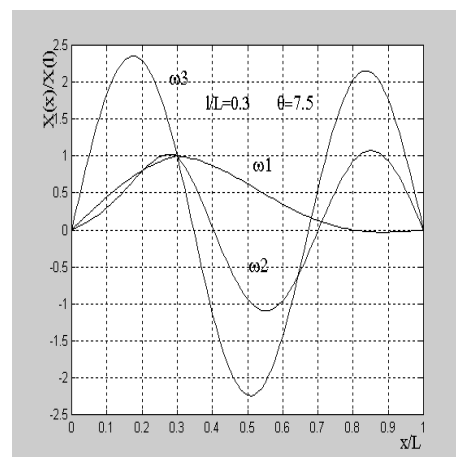
Bảng 2.5: Các giá trị cực đại của tỉ số cản thứ nhất theo tỉ số khoảng cách khác nhau.

l/L	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
$\xi_{1\max}$	0.0264	0.0565	0.0917	0.1365	0.1973	0.289	0.405
θ	6.45	3.35	2.14	1.88	1.52	1.5	1.5

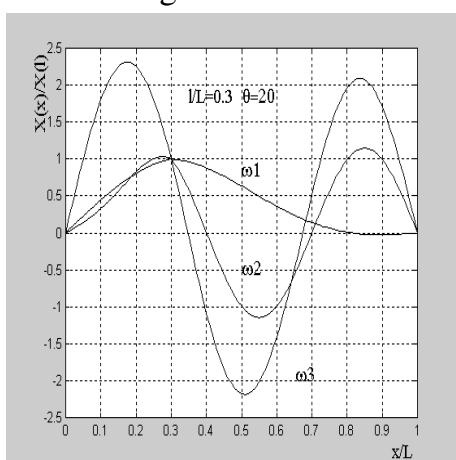
Bảng 2.5 thể hiện các giá trị cực đại của tỉ số cản thứ nhất ứng với các vị trí lắp đặt thiết bị cản nhót tuyến tính khác nhau. Có thể nhận ra các giá trị cực đại này tăng khi tăng tỉ số l/L . Hình 2.11(a,b,c) mô tả đồ thị của ba dạng dao động đầu tiên ứng với $l/L = 0.3$ với những giá trị khác nhau của θ . Đồ thị chuyển động tại vị trí lắp thiết bị cản nhót theo thời gian của dây cáp trên hình 2.12 với tỉ số $l/L = 0.05$ và ba giá trị khác nhau của hệ số giảm chấn $\theta_1 = 0.1$, $\theta_2 = 6.5$, $\theta_3 = 30$. Đồ thị này cho thấy hiệu quả giảm dao động đối với dạng dao động thứ nhất của thiết bị.



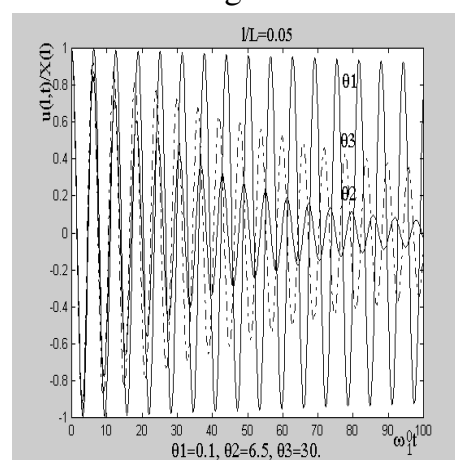
Hình 2.11a: Ba dạng dao động đầu tiên ứng với $\theta = 1.5$.



Hình 2.11b: Ba dạng dao động đầu tiên ứng với $\theta = 7.5$.



Hình 2.11c: Ba dạng dao động đầu tiên ứng với $\theta = 20$.



Hình 2.12: Dao động dây cáp tại điểm lắp đặt thiết bị cản nhớt

Kết luận

Việc xây dựng cầu dây văng đã trở nên phổ biến trên thế giới và ngày càng phát triển ở Việt Nam. Do độ cản nhỏ và độ mảnh cao của các sợi cáp nên chúng hay phải chịu những dao động có biên độ lớn gây ra bởi các tải trọng trực tiếp từ môi trường như chuyển động các đoàn xe, gió hay mưa gió kết hợp. Vì vậy, việc nghiên cứu điều khiển dao động trở nên quan trọng trong lĩnh vực thiết kế mới và cải tạo cầu dây văng. Để giảm những dao động không mong muốn này, ta có thể lắp đặt các thiết bị hao tán năng lượng kiểu thụ động, tích cực hay nửa tích cực vào gần đầu dây tại phía nối với dầm cầu. Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu được thực hiện về thiết bị hao tán năng lượng, ví dụ như ma sát, vật liệu kim loại, chất lỏng nhớt, dùng khối lượng hay chất lỏng để chuyển năng lượng dao động sang các dạng năng lượng khác như nhiệt hay phân phối lại năng lượng dao động. Ở đây này đã đề cập đến vấn đề dùng thiết bị cản tuyến tính nhớt. Một số tính toán số về trạng thái dao động nhằm làm sáng tỏ bản chất động lực học của hệ dây có gắn thiết bị cản nhớt tuyến tính. Kết quả

thu được cho thấy có thể nâng cao hiệu quả giảm dao động của loại thiết bị này. Đó là cơ sở để tìm ra những thông số tối ưu ứng với dây cáp cho trước. Việc thiết kế, sản xuất, thí nghiệm thiết bị này sẽ được đề cập đến trong bài báo sau. Tóm lại, đây là một công nghệ tiên tiến cần nghiên cứu kỹ trong quá trình áp dụng nó vào điều kiện thực tế xây dựng cầu dây văng ở Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. Abdel-Ghaffar A.M., Khalifa M.A., Importance of cable vibration in dynamics of cable-stayed bridges. *ASCE J. of Engineering Mechanics*, 1991, **117**, 2571-2589.
2. Caetano, E. Dynamics of cable-stayed bridges: Experimental assessment of cable structure interaction, *Ph. D. thesis*, University of Porto, Portugal.
3. Caetano E. et al., The role of stay cables in the seismic response of cable-stayed bridges, *16th Int. Conf. on Modal Analysis*, Santa Barbara, California, USA, 1998, vol.2, 1346-1352.
4. Fujino Y. Vibration and control of long-span bridges, *Int. Conf. on Advances in Structural Dynamics*, Eds. Ko J.M. and Xu Y.L., Elsevier, 2000, 55-66.
5. Kovacs, Zur Frage der Seilschwingungen und der Seildämpfung. *Die Bautechnik* **59** 10 (1981), 325–332.
6. Krenk S., Nielsen R. K., Vibration of a shallow cable with a viscous damper. *Proceedings of the Royal Society, London, A* **458** (2001), 339–357.
7. Main, J. A., and Jones, N. P., Full-scale measurements of stay cable vibration, *10th Int. Conf. on Wind Engineering*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1999, 963–970.
8. Pacheco, B. M., Fujino, Y., and Sulekh, A., Estimation curve for modal damping in stay cables with viscous damper, *J. Struct. Eng.*, 1993, **119**, N6, 1961–1979.
9. Premont, A. *Vibration control of active structures*, Second Edition, Kluwer, Dordrecht.
10. Soong T.T., Supplemental energy dissipation: State-of-the-art and state-of-the-practice, *Int. Conf. on Advances in Structural Dynamics*, Eds. Ko J.M. and Xu Y.L., Elsevier, 2000, 109-120.
11. Yamaguchi, H., and Fujino, Y., Stayed cable dynamics and its vibration control, *Int. Symp. on Advances in Bridge Aerodynamics*, Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1998, 235–253.
12. Ngô Vi Châu - Nguyễn Phước Hoàng – Vũ Duy Quang - Đặng Huy Chi – Võ Sỹ Huỳnh – Lê Danh Liêm, (1979), Bài tập thủy lực và máy thủy lực, Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp.
13. Fu, Y. and Kasai, K. (1998), Comparative Study of Frames Using Visco-elastic and Viscous Damper, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(5), 513-522.
14. Constantinou, M.C., Tsopelas, P. Hammel, W. and Sigaher, A.N. (2000), New Configurations of Fluid Viscous Dampers for Improved Performance, *Symposium of Passive Control Structures-2000*, Tokyo Institute of Technology, 261-272.
15. AASHTO, Revision to the Guide Specifications for Seismic Isolation Design, Ballot Version, T3 Committee, May, 1997.
16. ASCE Standards Committee on Testing of Base Isolation Systems, ASCE Standard for Testing Seismic Isolation Systems, Units and Components. Draft D Ballot Version, January, 1997.

17. Aiken, I.D. and Kelly, J.M., Cyclic Dynamic Testing of Fluid Viscous Dampers. Proceedings, Caltrans Fourth Seismic Research Workshop, Sacramento, California, July, 1996.
18. FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA-273 Ballot Version, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., September, 1996.
19. HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center), Guidelines for the Testing of Seismic Isolation and Energy Dissipation Devices. CERF Report HITEC 96-02, March, 1996.
20. ICBO, Uniform Building Code. International Conference of Building Officials, Whittier, California, April, 1997.
21. Mellon, D., Caltrans' Proposed Testing of the Seismic Response Modification Devices for the Toll Bridge Retrofit Program. Proceedings, Second National Seismic Bridge Conference, Sacramento, California, July, 1997.
22. Shenton, H.W., Guidelines for Pre-Qualification, Prototype, and Quality Control Testing of Seismic Isolation Systems. NISTIR 5800, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, January, 1996.
23. Sultan, M. and Sheng, L.-H., Caltrans/FHWA Program for the Performance Testing of Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems. Proceedings, National Seismic Conference on Highways and Bridges, Federal Highway Administration, San Diego, California, December, 1995.
24. Ian D. Aiken, Testing of Seismic Isolators and Dampers – Considerations and Limitations, Proceedings, Structural Engineering World Congress, San Francisco, California, July (1998).
25. Deh-Shiu Hsu, Yung-Feng Lee, Chien-Yuan Hou and Juan-The Lee, Test requirements and its execution for the velocity dependent energy dissipation devices, Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, R.O.C.

3. Nghiên cứu thiết kế thiết bị TTNL dùng nguyên lý cản nhót

Mở đầu

Việc thiết kế các bộ chống dao động đã được phát triển cho những cây cầu trên thế giới có sử dụng các bộ TTNL cản nhót. Các mô tả chi tiết của thiết kế toàn bộ và căn bản của sự chọn lựa các bộ TTNL cản nhót được cung cấp bởi [Rodriguez and Ingham, 1995] và [Ingham et al, 1995]. Những bộ TTNL cản nhót này đạt được các khả năng sau:

- Làm giảm dịch chuyển dọc, tương đối tại các khớp nối, khoá gió, do vậy làm triệt tiêu ảnh hưởng do dao động của nhịp đỡ vào tháp cầu.
- Làm giảm ứng suất của tháp cầu khi bị dịch chuyển dọc, giảm yêu cầu về độ cứng của các thanh giằng.
- Được sử dụng để cách ly các nhịp bên và tháp cầu để tránh sự dao động cộng hưởng của các hệ thống này.

Các bộ giảm chấn có tác dụng ngăn ngừa các dao động do gió, bão, va đập mạnh. Sự cần thiết phải kiểm tra các bộ TTNL cản nhót để xác định loại tiêu hao năng lượng có khả năng đạt được yêu cầu về lực và dịch chuyển. Trong quá trình thiết kế, để xác định xem các bộ TTNL cản nhót chất lỏng có thể cung cấp các hiệu quả như mong muốn hay không, người ta phải tiến hành thử nghiệm. Chương trình thử nghiệm để công nhận những tính chất lí thuyết của các bộ TTNL cản nhót thu nhỏ theo tỷ lệ và cung cấp trước khả năng kỹ thuật của sự chế tạo để đưa ra biện pháp chống cho công trình.

Những chi tiết quan trọng cần xem xét một bộ TTNL cản nhót thu nhỏ là:

- Áp suất xung quanh và áp suất khi làm việc.
- Các thiết kế khe, lỗ.
- Các hệ thống nắp, đoãng, phốt bịt kín.
- Chất cản nhót.
- Thiết kế chi tiết như sự cong, oằn, ứng suất giới hạn.

Việc thử nghiệm các bộ thu nhỏ kích thước sẽ có ý nghĩa và cho các kết quả biểu lộ cách hoạt động của các bộ giữ đúng kích thước thực sự.

a. Nghiên cứu các yêu cầu thiết kế kỹ thuật và tuổi thọ sản phẩm

Việc nghiên cứu, tính toán, thiết kế, kiểm tra có vai trò quan trọng trong các ứng dụng kĩ thuật. Ví dụ, trước khi đổ bê tông cốt thép thì không thể bỏ qua bước tính toán, thiết kế. Trong thiết kế, modul Young của thép cần phải được thí nghiệm để biết trước. Việc thí nghiệm trên các mẫu thử là rất cần thiết để xác định các tính chất của vật liệu sẽ được sử dụng trong thiết kế. Nghĩa là chúng ta sẽ không thể chắc 100% chất lượng của tất cả các bộ mà chúng ta sử dụng sẽ thỏa mãn các yêu cầu thiết kế.

Điều chúng ta cần có đối với bộ TTNL cản nhót là các tính chất bên trong và các đặc điểm hoạt động của các bộ TTNL cản nhót này trước khi nó được thiết kế và lắp đặt

vào các kết cấu. Do đó, việc các bộ TTNL cản nhót phụ thuộc vào vị trí hoặc phụ thuộc vào vận tốc là không quan trọng. Các bộ TTNL cản nhót phụ thuộc vào vận tốc có độ nhạy bén cao với tỷ số giữa diện tích khe hở của piston và diện tích piston. Thêm vào đó còn là mật độ, độ nhớt, độ ổn nhiệt, tạo bọt của chất cản nhót, vv... Thật may rằng tất cả các bộ cản được lắp đặt để TTNL cản nhót đều có thể được kiểm tra mà không bị làm hỏng. Điều đó có nghĩa là các thử nghiệm trước khi lắp đặt có thể làm được tới từng bộ cản mà sẽ được lắp đặt vào các kết cấu. Các tính chất của các bộ cản có thể nghiên cứu được không chỉ bởi các thử nghiệm trên một vài mẫu mà là trên mọi bộ cản.

Do việc chế tạo các bộ TTNL đòi hỏi các tiêu chuẩn rất khắt khe nên ta có thể tổng kết các yêu cầu kỹ thuật của nước ngoài sau đây cho các bộ cản nhót được chế tạo phục vụ cho việc giảm dao động.

b. Giải pháp để chế tạo thiết bị TTNL phù hợp với điều kiện Việt Nam

Bước 1: Xác định yêu cầu của thực tế cần bộ tiêu hao năng lượng cần thiết phải có hệ số cản C_{yc} .

Bước 2:

2.1 Chế tạo một bộ piston - xy lanh thủy lực có hai cần, xác định các giá trị của bán kính xy lanh R_2 và cần piston R_3 theo bảng 3.1:

Bảng 3.1: Các thông số của R_2 và R_3

2R₂	25	32	40		50	63		80
2R₃	12	14	18	25	22	28	30	36

2.2 Chọn chất lỏng Silicon oil có độ cản nhót bằng μ theo bảng 3.2

Bảng 3.2: Độ cản nhót của một số loại dầu Silicon

Kí hiệu	Thể tích (ml)	Độ nhớt động cSt	Nhiệt độ (°C)
S100	500	100	25
S1000	500	1000	25
S5000	500	5000	25
S10000	500	10000	25
S30000	500	30000	25

Bước 3: Ta tiến hành chế tạo đầu piston với các tham số hình học: nhằm thỏa mãn $C=C_{yc}$.

Bước 4: Kết thúc chế tạo.

Bước 5: Kiểm nghiệm tại phòng thí nghiệm.

c. Tính toán động lực học các bộ phận của thiết bị TTNL

Để thiết kế và đánh giá chất lượng bộ TTNL, người ta thường đề cập đến các tham số: vận tốc thiết kế, biên độ thiết kế, lực lớn nhất, số mũ vận tốc, hệ số cản, khoảng biến thiên nhiệt độ và khoảng biến thiên tần số hoạt động.

- Vận tốc thiết kế là vận tốc lớn nhất mà bộ TTNL phải chịu. Vận tốc thiết kế tùy thuộc vào kết cấu.
- Biên độ thiết kế là khoảng dịch chuyển lớn nhất của pittông. Nó cũng phụ thuộc vào kết cấu. Nếu biên độ này quá lớn ($>1\text{m}$) thì cần có các cơ cấu bảo vệ bộ TTNL khỏi bị cong.
- Lực lớn nhất đặc trưng cho độ lớn của bộ TTNL. Nó quyết định đường kính xy lanh, kích thước khe hẹp, lỗ khoan trên đầu piston của bộ TTNL.
- Hệ số cản đặc trưng cho tỷ lệ giữa lực và vận tốc.
- Khoảng biến thiên nhiệt độ và tần số cho thấy miền nhiệt độ và tần số có thể áp dụng bộ TTNL một cách ổn định.

d. Tính toán, thiết kế các thiết bị TTNL thử nghiệm và 10 thiết bị TTNL hoàn chỉnh

- Tính toán thiết kế các bộ xi lanh, piston đặc chủng làm việc liên tục trong môi trường khắc nghiệt đòi hỏi độ an toàn cao;

Để đạt được yêu cầu trên người ta sử dụng một số công nghệ:

- Khoan nhiều lỗ phụ hoặc sử dụng các khe van dạng hình khuyên để không gây ra dòng rối khi chất lỏng chảy qua khe. Ngoài ra, khe van hình khuyên thường được tạo thành giữa xy lanh và pittông nên nó có khả năng thoát nhiệt nhanh ra ngoài môi trường.
- Thiết kế các khoang chứa nhằm tránh cho chất lỏng bị nén ở áp suất quá cao, gây ra lực hồi phục (lực có tính chất như lực của lò xo) dẫn đến việc tăng ứng suất vào kết cấu. Khoang chứa cũng đảm bảo tính đối xứng của đặc trưng động lực của bộ TTNL. Để đạt được yêu cầu ổn định nhiệt độ, người ta tạo ra những bộ điều nhiệt trong khe, có chức năng thay đổi kích cỡ khe van khi nhiệt độ thay đổi. Ngoài ra, khoang chứa cũng có vai trò điều nhiệt. Yêu cầu về kích cỡ dễ dàng đạt được không chỉ với bộ TTNL mà còn nhiều loại bộ TTNL khác.

- Tính toán thiết kế hệ thống van điều tiết lắp đặt trong hệ thống TTNL

- Sử dụng khe van có dạng vòi phun Laval (là khe có dạng hội tụ - phân kỳ). Vòi phun Laval là khái niệm rất quen thuộc trong khí động lực. Nó có tính chất giải thoát được dòng có vận tốc lớn và kìm hãm dòng có vận tốc nhỏ. Ngoài ra vòi phun Laval

cho phép giảm được sức cản do va chạm. Tuy nhiên việc chế tạo dạng này rất khó khăn có thể thực hiện được trong điều kiện máy móc của Việt Nam còn thiếu. Ta chỉ có thể áp dụng các hệ khe lỗ, đạt độ kín khít cao để tạo dòng chảy vận tốc cao.

- *Tính toán lựa chọn các hệ thống gioăng thủy lực;*

Để đạt được yêu cầu về lực lớn nhất và tuổi thọ, người ta phát triển trên cả 2 phương diện: phương diện vật liệu và phương diện cơ học.

- Về phương diện vật liệu, người ta dùng các loại thép có cường độ cao làm pittông và chế tạo ra các vật liệu làm gioăng phốt rất bền.

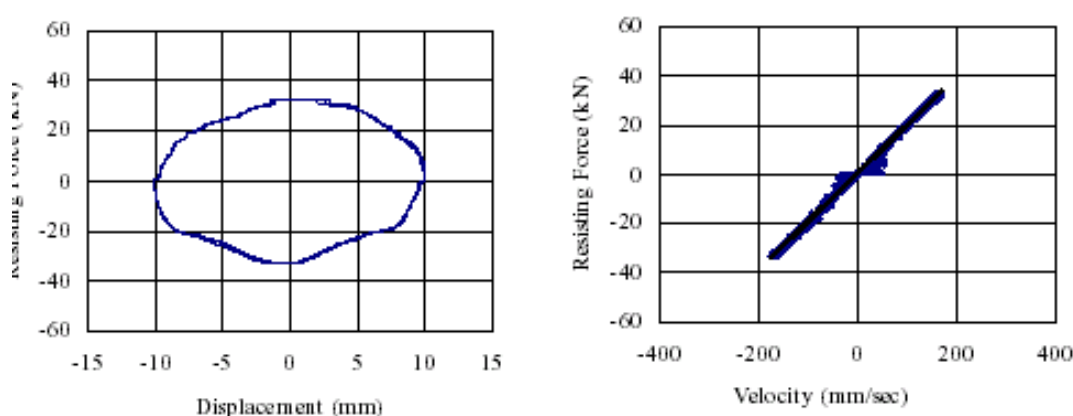
- Về phương diện cơ học, một số cách bố trí gioăng và thanh dẫn hướng giúp cho tăng sức chịu đựng và tuổi thọ của bộ TTNL. Thậm chí, khi lắp đặt vào kết cấu cũng có những cách lắp đặt để bảo vệ bộ TTNL.

- *Phân tích và tính toán lựa chọn loại dầu nhớt phù hợp với sản phẩm TTNL*

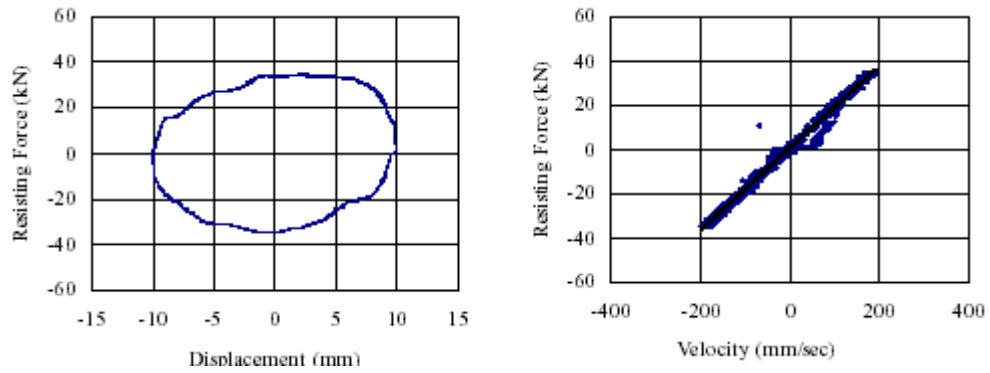
Tận dụng tính chất nén được và độ nhớt cao của một số loại chất lỏng, chẳng hạn dầu Silicon.

Dưới đây là kết quả thí nghiệm bộ tiêu hao năng lượng được trường đại học của Đài Loan thực hiện:

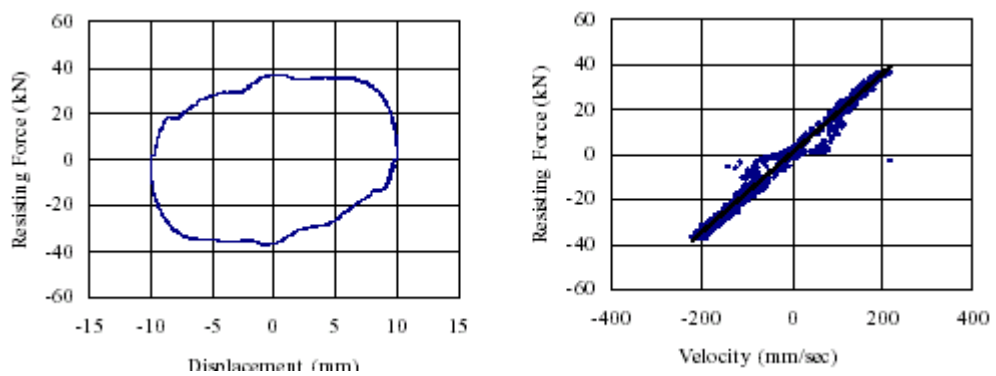
Thí nghiệm được tiến hành với dải tần số của lực kích động từ 0.05 Hz đến 3.5 Hz và biên độ được giới hạn trong $\pm 10\text{mm}$, 15mm , 20mm , 25mm và 30mm . Một số kết quả tiêu biểu, cho trường hợp biên độ $\pm 10\text{mm}$ với các tần số thay đổi (vd 2.5 Hz, 3.0 Hz, 3.5 Hz), chỉ ra mối liên hệ giữa lực cản liên hệ với dịch chuyển và vận tốc được vẽ trên hình 3.1 đến hình 3.3.



Hình 3.1. Kết quả kiểm tra trong trường hợp tần số 2.5 Hz và biên độ 10mm



Hình 3.2. Kết quả kiểm tra trong trường hợp tần số 3.0 Hz và biên độ 10mm

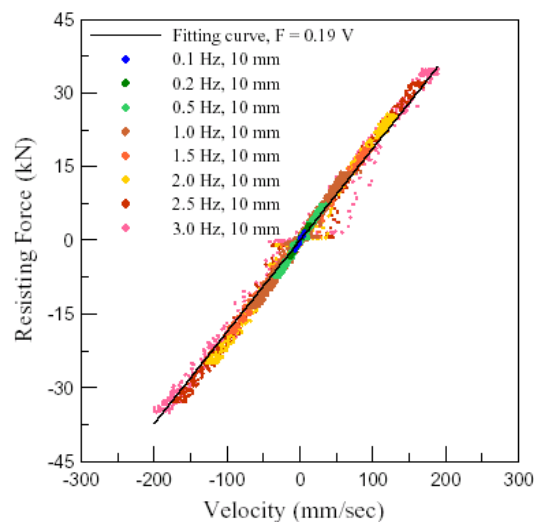


Hình 3.3. Kết quả kiểm tra trong trường hợp tần số 3.5 Hz và biên độ 10mm

Dựa trên các kết quả thu được từ thí nghiệm tuần hoàn, sự liên hệ giữa lực cản của bộ cản nhớt và vận tốc của piston trong xy lanh bộ cản nhớt được xác định và vẽ trên hình 3.4. Mối liên hệ là một hàm tuyến tính như sau:

$$F = 0.19V \text{ (kNs/cm)} \quad (3.1)$$

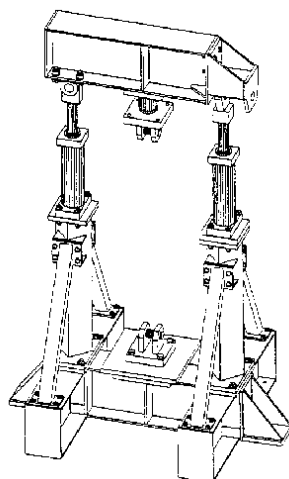
Điều này có nghĩa là hệ số cản được tìm ra qua thí nghiệm là một hằng số.



Hình 3.4. Mối liên hệ giữa lực cản và vận tốc của bộ cản nhớt được tìm ra qua thí nghiệm tuần hoàn

e. Tính toán, thiết kế các loại đồ gá phục vụ cho chế tạo và kiểm tra các thiết bị TTNL.

Máy kiểm tra: Máy kiểm tra được thiết kế và chế tạo đặc biệt cho chương trình kiểm tra bộ TTNL cảm nhót. Máy kiểm tra được thiết kế để sử dụng năng lượng toàn bộ của hệ thống bơm thủy lực và để xác định các đặc điểm lớn nhất của thiết kế các bộ TTNL cảm nhót. Máy kiểm tra các bộ cảm ở vào tư thế đứng thẳng bao gồm hai xy lanh ở hai bên là hai xy lanh thủy lực 28 tấn hai chiều. Trên hình 3.5 mô tả một kiểu máy thí nghiệm như vậy.



Hình 3.5. Máy thí nghiệm bộ TTNL cảm nhót.

Mỗi máy tạo lực được điều khiển bởi một van séc-vô 757 l/s. Một lực được đặt vào bên cạnh bộ TTNL để mô phỏng trọng lực và để tăng hoặc hạ nhiệt độ kiểm tra, bộ cảm nhót được bọc kín bởi một khoang nhiệt độ. Để hạ nhiệt độ người ta dùng nito lỏng, để tăng nhiệt độ người ta dùng băng nhiệt công suất 2 kw. Ngoài ra người ta còn dùng các cánh quạt để phân phối nhiệt độ trong khoang nhiệt độ thống nhất. Một bộ chuyển đổi lực một trục được nối với phần đáy của bộ TTNL cảm nhót được dùng để đo lực của bộ cảm nhót, và dịch chuyển của bộ cảm nhót được ghi lại bởi một dây đo điện thế được dán trực tiếp vào cạnh của bộ cảm nhót và được nối vào đỉnh của cần piston của bộ cảm nhót. Các thí nghiệm này có thể thực hiện trong điều kiện bình thường để so sánh với lý thuyết.

4. Lập quy trình công nghệ chế tạo bộ TTNL

a. Khảo sát khả năng chế tạo các thiết bị TTNL tại các nhà máy cơ khí trong nước, từ đó đưa ra công nghệ chế tạo các thiết bị này phù hợp với yêu cầu công nghệ thiết bị của Việt Nam

Nơi chế tạo và cung cấp thiết bị

- Công ty Cơ điện Nông Nghiệp và Phát triển Nông Thôn (Chế tạo piston, xy lanh).

- Nhà máy Z 125 Bộ Quốc Phòng (Chế tạo piston, xy lanh).
- Công ty Diezen Sông Công- Thái Nguyên (Chế tạo xy lanh).

Các hãng và công ty cung cấp thiết bị thủy lực từ nước ngoài

- Công ty Tự động hoá thủy khí Nam Thịnh (181 Chùa Bộc- Hà Nội) đại diện cho công ty ELCOM - Italy.
- Công ty thương mại và thiết bị thủy lực Yến Linh, số 22 đường Nguyễn Phong Sắc- Nghĩa Tân - Cầu Giấy- Hà Nội.

b. Phân tích lựa chọn các mặt công nghệ, vật liệu, giá cả, hiệu quả, tuổi thọ, cách lắp đặt... để quyết định phương án chế tạo thiết bị TTNL dùng nguyên lý cản nhót

Vật liệu và yêu cầu kỹ thuật của bộ tiêu tán năng lượng:

Vật liệu dùng để chế tạo bộ tiêu tán năng lượng có độ bền tương đối cao

- Khi áp suất đến 100kG/cm^2 thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b = 15 \div 60\text{kG/mm}^2$$

- Khi áp suất đến $100 - 200\text{kG/cm}^2$ thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b = 30 \div 90\text{kG/mm}^2$$

- Khi áp suất $> 200\text{kG/cm}^2$ thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b > 90\text{kG/mm}^2$$

Bảng 4.1: Yêu cầu độ chính xác chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng

Vật liệu và yêu cầu gia công	Xi lanh	Pittông	Cần pittông	Nắp	Đồ gá lắp ráp, phụ kiện
Độ nhẵn bề mặt	Không thấp hơn $\nabla 8$				
Độ không thẳng của chi tiết trên 500 mm	Không lớn hơn 0.03	-	Không lớn hơn 0.03	-	Không lớn hơn 0.03
Độ đảo mặt mút	Không lớn hơn 0.05	Không lớn hơn 0.05	-	Không lớn hơn 0.05	Không lớn hơn 0.05
Độ đảo bề mặt so với tâm xy lanh	Không quá dung sai của đường kính tương ứng				
Độ chính xác của ren	2	3	2-4	2	2
Độ không vuông góc trên chiều dài 100mm	Không lớn hơn 0.02	-	Không lớn hơn 0.02		Không lớn hơn 0.02

Tính ứng suất và chuyển vị trên xy lanh

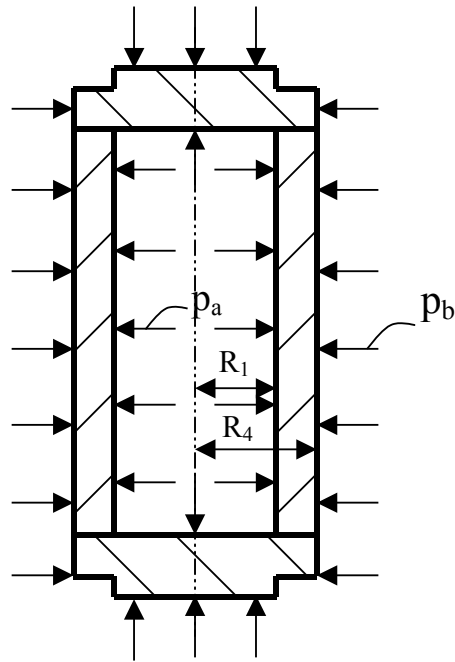
Do xy lanh là chi tiết chịu áp suất rất lớn của chất cảm nhớt nên để thiết kế xy lanh làm việc được, ta cần biết đến ứng suất và chuyển vị trên xy lanh. Ta có thể coi xy lanh của bộ cảm nhớt như một ống hình trụ kín hai đầu (hình 4.1) có bán kính ngoài R_4 , bán kính trong R_1 , ống chịu áp lực bên trong phân bố đều p_a , phía ngoài chịu áp p_b . ở đây, vật liệu làm ống có hệ số E , μ và $[\sigma]$.

ống bị kéo dọc theo trục bởi một hợp lực P bằng:

$$P = \pi(p_a R_1^2 - p_b R_4^2) \quad (4.1)$$

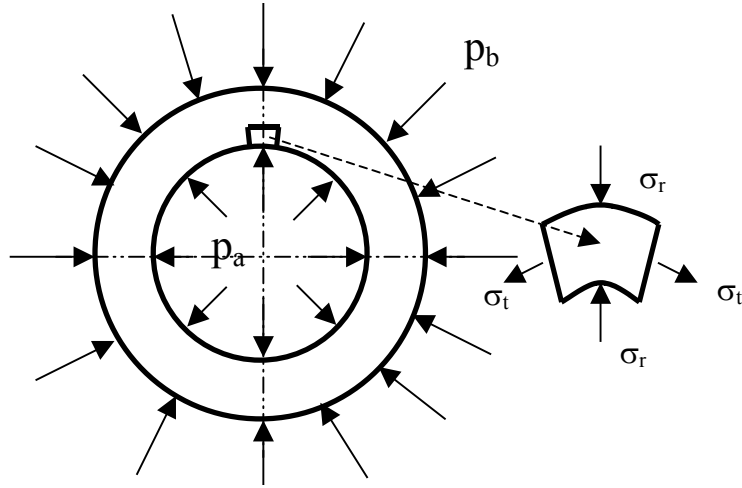
ứng suất kéo dọc theo trục có trị số là:

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi(R_4^2 - R_1^2)} = \frac{(p_a R_1^2 - p_b R_4^2)}{(R_4^2 - R_1^2)} \quad (4.2)$$



Hình 4.1. Sơ đồ phân bố lực trên xy lanh

Ta có ứng suất xuyên tâm σ_r và ứng suất vòng σ_t (hình 4.2) được tính như sau:



Hình 4.2. Sơ đồ phân bố lực trên mặt cắt ngang của xy lanh

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p_a R_1^2 - p_b R_4^2}{R_4^2 - R_1^2} - \frac{R_1^2 R_4^2}{r^2} \frac{p_a - p_b}{R_4^2 - R_1^2} \\ \sigma_t &= \frac{p_a R_1^2 - p_b R_4^2}{R_4^2 - R_1^2} + \frac{R_1^2 R_4^2}{r^2} \frac{p_a - p_b}{R_4^2 - R_1^2}\end{aligned}\quad (4.3)$$

Chuyển vị u theo phương bán kính của điểm cách trục một khoảng r là:

$$u = \frac{1-\mu}{E} \frac{p_a R_1^2 - p_b R_4^2}{R_4^2 - R_1^2} r + \frac{1+\mu}{E} \frac{R_1^2 R_4^2}{r} \frac{p_a - p_b}{R_4^2 - R_1^2} - \frac{\mu}{E} \sigma_z r \quad (4.4)$$

Điều kiện bền của ống như sau:

$$\max(\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z) < [\sigma] \quad (4.5)$$

c. Lập quy trình công nghệ chế tạo

Điều kiện bền của ống xy lanh thỏa mãn theo công thức (4.5) với $[\sigma] = \sigma_b/n = 1180$ (kG/cm²), n là hệ số an toàn với thép chọn $n=5$.

Trong đó $p_a = F/A = 27408 / (3.14 \cdot 3.11^2) = 90$ (kG/cm²)

Giả sử p_b là áp suất khí quyển trong điều kiện bình thường: $p_b = 1$ (kG/cm²)

áp dụng công thức (4.2), (4.3) và ta chọn đường kính ngoài của xy lanh là 7,5 cm. Ta có:

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi(R_4^2 - R_1^2)} = \frac{(p_a R_1^2 - p_b R_4^2)}{(R_4^2 - R_1^2)} = \frac{(90 \cdot 31.5^2 - 1 \cdot 37.5^2)}{(37.5^2 - 31.5^2)} = 212 \text{ (kG/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_r = \frac{p_a R_1^2 - p_b R_4^2}{R_4^2 - R_1^2} - \frac{R_1^2 R_4^2}{R_1^2} \frac{p_a - p_b}{R_4^2 - R_1^2} = -90(kG/cm^2)$$

$$\sigma_t = \frac{p_a R_1^2 - p_b R_4^2}{R_4^2 - R_1^2} + \frac{R_1^2 R_4^2}{R_1^2} \frac{p_a - p_b}{R_4^2 - R_1^2} = 514(kG/cm^2)$$

$$\max(\sigma_z, \sigma_r, \sigma_t) = 514(kG/cm^2) < [\sigma]$$

Quy trình thiết kế - chế tạo - kiểm tra bộ tiêu tán năng lượng

Bước 1: Xác định yêu cầu của thực tế cần bộ tiêu hao năng lượng cần thiết phải có hệ số cản C_{yc} .

Bước 2: - Chọn một bộ piston - xy lanh thuỷ lực có hai cần, xác định 1 giá trị trong các giá trị của R_2, R_3 theo bảng 3.1

- Chọn chất lỏng Silicon oil của Mỹ (hãng Thermo Haake) có độ cản nhớt bằng μ theo bảng 3.2

Bước 3: Dựa vào công thức $F=CV$, hệ số C sẽ chỉ còn là một hàm số $C=C(n, \alpha, R_2, R_0, l)$. Ta tiến hành chế tạo đầu piston với các tham số n, α, R_2, R_0, l nhằm thỏa mãn $C=C_{yc}$.

Bước 4: Chế tạo tại nhà máy bộ TTNL thỏa mãn các yêu cầu mà tính toán đã có. (Bộ bản vẽ thiết kế được đi kèm trong phần phụ lục)

Bước 5: Thí nghiệm kiểm tra bộ cản nhớt tại phòng thí nghiệm

Lập quy trình công nghệ chế tạo tại nhà máy

1. Quy trình gia công chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng

a) Yêu cầu về gia công

Gia công chi tiết phải chính xác và theo đúng với các kích thước quy định để có thể sẵn sàng lắp đặt các chi tiết thay thế với các bản vẽ thiết kế. Các chi tiết tương tự nhau và các chi tiết, bộ phận dự phòng phải có khả năng lắp lẫn.

Toàn bộ công tác gia công phải được thực hiện nhằm giữ cho các bề mặt liên kết khớp với nhau. Các bề mặt chưa hoàn thiện phải được gia công đúng theo các đường nét và kích thước thể hiện trên bản vẽ, và phải được làm nhẵn bề mặt không còn các vết gồ ghề, lỗi lõm.

Hoàn thiện các bề mặt của tất cả các chi tiết và bộ phận phải phù hợp với các yêu cầu phục vụ tương ứng, và phải theo đúng với các bản vẽ được phê duyệt. Các bề mặt được gia công hoàn thiện phải được thể hiện trong các bản vẽ chế tạo bằng các biểu tượng tiêu chuẩn hoá tương ứng.

- Các nguyên công

Nguyên công 1: Chuẩn bị phôi

Các chi tiết dạng trục là loại chi tiết xuất hiện chủ yếu trong bộ tiêu tán năng lượng bao gồm xy lanh, trục piston và các chi tiết lắp ghép bộ tiêu tán năng lượng lên cầu. Chúng có bề mặt cơ bản cần gia công là mặt tròn ngoài. Mặt này thường dùng làm mặt lắp ghép. Tùy theo kết cấu mà có thể chia các chi tiết dạng trục ra các loại sau:

- Trục trơn: trục piston.

Trên suốt chiều dài của trục chỉ có một kích thước đường kính d . Khi $\frac{L}{d} < 4$: trục trơn

ngắn; $\frac{L}{d} = 4 \div 10$: trục trơn thường; $\frac{L}{d} > 10$: trục trơn dài.

- Trục rỗng: loại trục rỗng được dùng làm trục piston trong một số trường hợp.

Điều kiện kỹ thuật

Khi chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng có dạng trục cần đảm bảo các điều kiện kỹ thuật sau:

- Kích thước đường kính các cổ lắp ghép yêu cầu đạt cấp chính xác 7-10, trong một số trường hợp cần đạt cấp 5.
- Độ chính xác về hình dáng hình học như độ côn, độ ô van của các trục nằm trong giới hạn 0,25-0,5 dung sai đường kính cổ trục.
- Độ nhám của các cổ trục lắp ghép đạt $R_a=1,25-1,16$, của các mặt đầu $R_z=40-20$ và bề mặt không lắp ghép $R_z=80-40$.
- Bề mặt trục piston được tôi cứng 30HRC và sau đó được mạ crôm đạt độ dày 30-50 μ m.

Về tính chất cơ lý của bề mặt trục như độ cứng bề mặt, độ thấm tôi tùy từng trường hợp cụ thể mà đặt điều kiện kỹ thuật.

Ngoài ra đối với một số trục làm việc với tốc độ cao còn có yêu cầu cân bằng tĩnh và cân bằng động.

- Vật liệu và phôi dùng để chế tạo các chi tiết dạng trục của bộ TTNL

Vật liệu để chế tạo các chi tiết dạng trục của bộ tiêu tán năng lượng bao gồm thép cacbon: thép 35, 40, 45; thép hợp kim như thép crôm, crôm-niken, 40X; 40Г; 50Г.

Việc chọn phôi để chế tạo trục phụ thuộc vào hình dáng, kết cấu và sản lượng của loại trục đó. Đối với chi tiết dạng trục của bộ tiêu tán năng lượng thì tốt nhất là dùng phôi thanh.

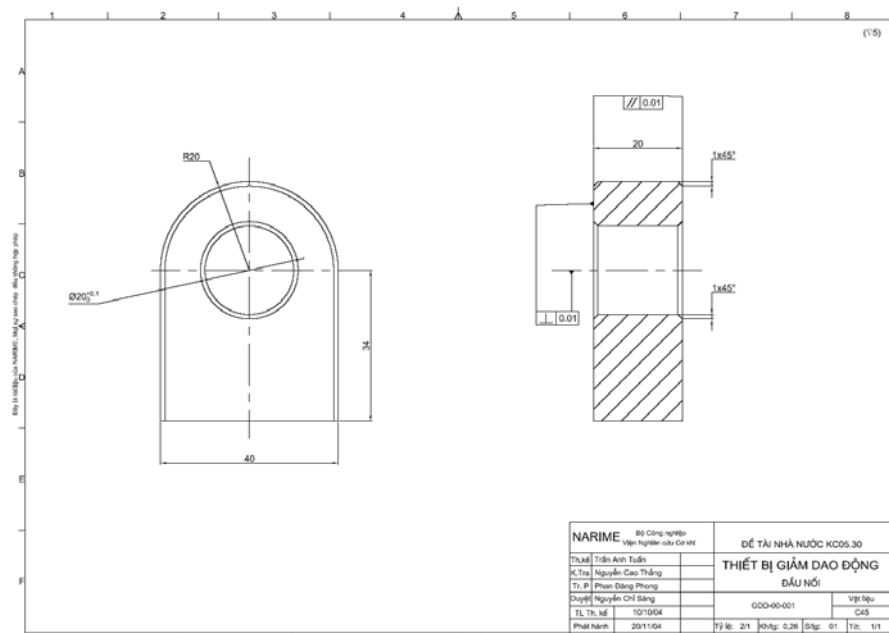
Bảng 2. Dãy kích thước thang tiêu chuẩn dùng để chọn khi chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng, [6]

Giá trị kích thước tiêu chuẩn					
300	500	800	1000	1600	3000

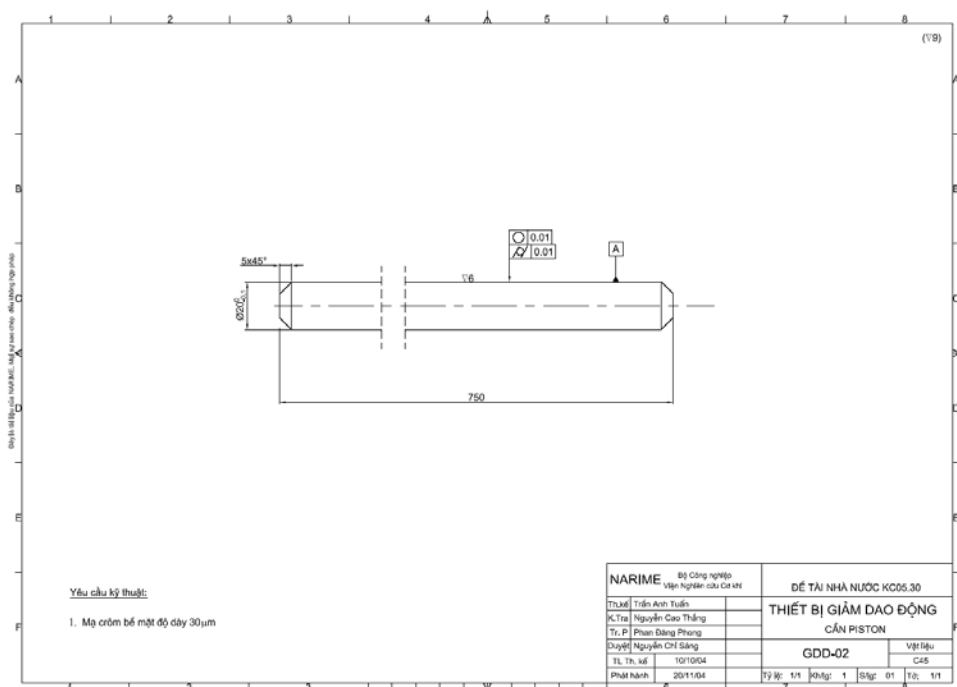
Tính công nghệ trong kết cấu của chi tiết dạng trục trong bộ TTNL

Khi thiết kế chi tiết dạng trục cần phải chú ý đến các vấn đề sau:

- Các bề mặt trên trục có khả năng gia công được bằng các dao thông thường.
- Giảm đường kính trục đến mức có thể mà vẫn đảm bảo mọi chức năng làm việc.
- Gia công trục trên các máy tiện, máy CNC.



Hình 4.4: Bản vẽ chế tạo chi tiết đầu nối



Hình 4.5 Bản vẽ chế tạo chi tiết dạng trục trục của bộ tiêu tán năng lượng

Nguyên công 2: Chế tạo chi tiết đầu nối trên máy phay

Nguyên công 3: Khoả mặt đầu đạt kích thước dài, khoan lấy dấu tâm, tiện thô và tinh chi tiết trục piston

Tiện có thể tạo được nhiều hình dạng bề mặt khác nhau như các mặt trụ của xy lanh, pittông, các mặt đầu, ren trong và ngoài.

a. Chuẩn định vị khi gia công chi tiết trục:

Đối với các chi tiết dạng trục yêu cầu về độ đồng tâm giữa các cổ trục là rất quan trọng. Để đảm bảo yêu cầu này, khi gia công trục cần phải dùng chuẩn tinh thống nhất. Chuẩn tinh thống nhất khi gia công các chi tiết dạng trục là hai lỗ tâm côn ở hai đầu của trục. Dùng hai lỗ tâm côn làm chuẩn, có thể hoàn thành việc gia công thô và tinh hầu hết các bề mặt của trục.

b. Thứ tự các nguyên công và biện pháp công nghệ chế tạo chi tiết dạng trục trục của bộ tiêu tán năng lượng

Thứ tự gia công các bề mặt

Việc lập trình tự gia công các bề mặt và chọn thiết bị cho các chi tiết dạng trục phụ thuộc vào các yếu tố cơ bản như hình dáng, kích thước, độ cứng vững, yêu cầu độ chính xác đạt được cũng như sản lượng hàng năm. Khi chế tạo các chi tiết dạng trục tròn có thể chia ra các giai đoạn chính sau:

Gia công chuẩn bị.

- Cắt đứt phôi theo kích thước dài hoặc bội số của chiều dài trên máy nhiều trục hoặc máy cắt đứt tự động chuyên dùng, máy cưa, cũng có thể cắt đứt trên máy tiện
- Khoả hai mặt đầu và khoan hai lỗ tâm. Nếu trục dài phải dùng luynet thì cần phải có nguyên công gia công cổ đỡ.

Gia công trước nhiệt luyện

Tiện thô và bán tinh các mặt trụ trên máy tiện (thường dùng hai lần gá để gia công hai đầu).

- Tiện tinh các mặt trụ. Nếu là trục rỗng thì sau khi tiện thô và bán tinh phải khoan và doa lỗ rồi mới gia công tinh mặt ngoài.
- Mài thô một số cổ trục để đỡ chi tiết khi phay.
- Nắn thẳng trục có $\Phi < 100$ và $\frac{L}{d} > 10$.
- Gia công các lỗ vuông góc hoặc làm thành một góc đường tâm trục, gia công các mặt có ren, mặt không quan trọng.

Nhiệt luyện

Nắn thẳng sau khi nhiệt luyện để khắc phục biến dạng

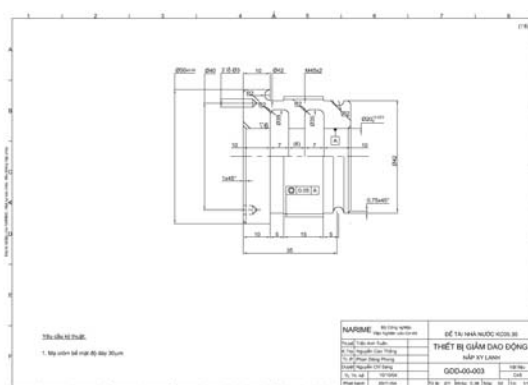
Gia công tinh sau nhiệt luyện

- Mài thô và tinh các cổ trục.
- Mài thô và tinh các mặt
- Đánh bóng
- Tổng kiểm tra.

Tiện thô và tiện tinh mặt trụ

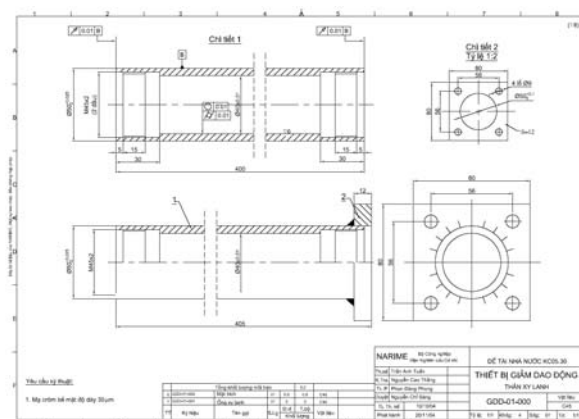
Công việc tiện thô và tiện tinh được thực hiện trên máy tiện vạn năng. Việc gia công lỗ tâm trên các trục được làm theo dấu. Nếu thực hiện trên máy tiện thì trục được kẹp một đầu vào mâm cặp.

Nguyên Công 4: Chế tạo chi tiết nắp xy lanh trên máy tiện



Hình 4.6: Bản vẽ chế tạo nắp xy lanh

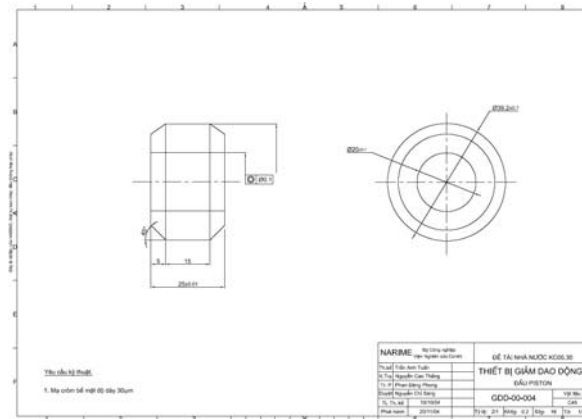
Nguyên công 5: Chế tạo chi tiết xy lanh trên máy tiện



Hình 4.7: Bản vẽ chế tạo chi tiết xy lanh

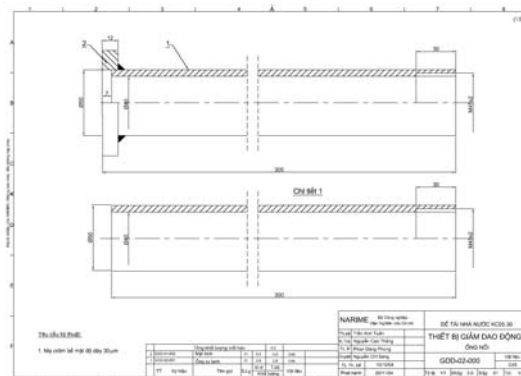
Nguyên công 6: Chế tạo chi tiết mặt xích xy lanh trên máy phay

Nguyên công 7: Chế tạo chi tiết đầu piston trên máy tiện



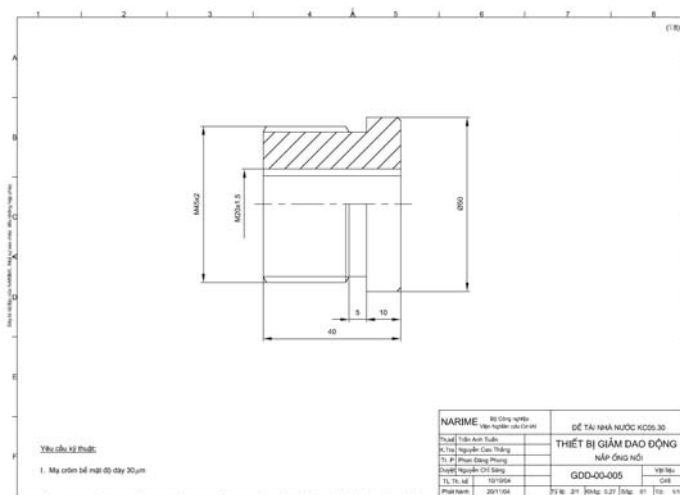
Hình 4.8: Bản vẽ chế tạo chi tiết đầu piston

Nguyên Công 8: Chế tạo chi tiết ống nối trên máy tiện



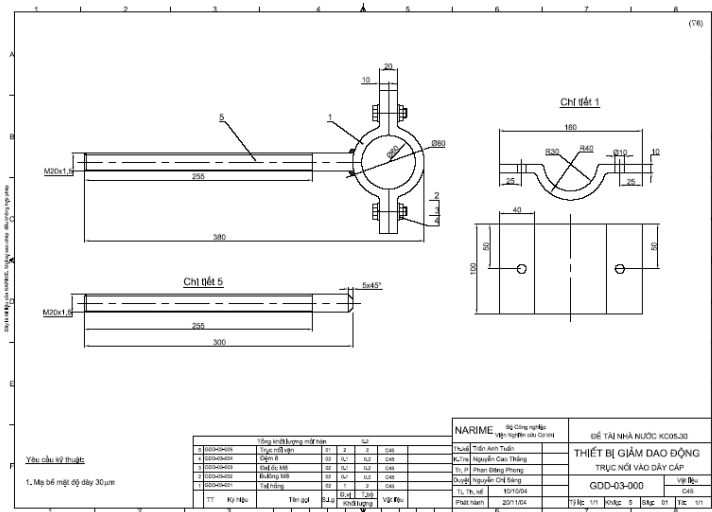
Hình 4.9: Bản vẽ chi tiết ống nối

Nguyên công 9: Chế tạo chi tiết nắp ống nối trên máy tiện

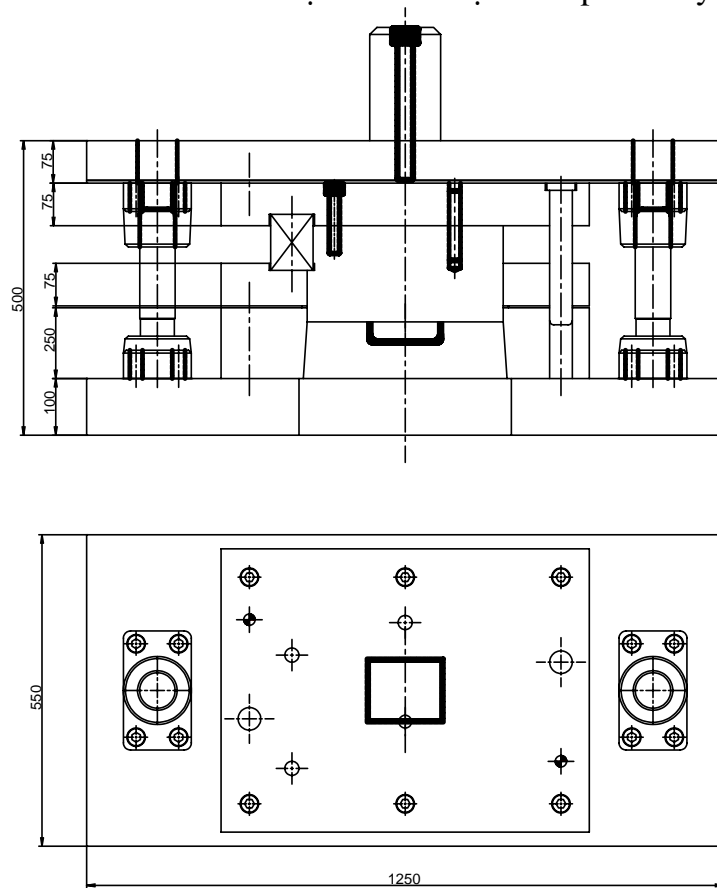


Hình 4.10: Bản vẽ chi tiết nắp ống nối

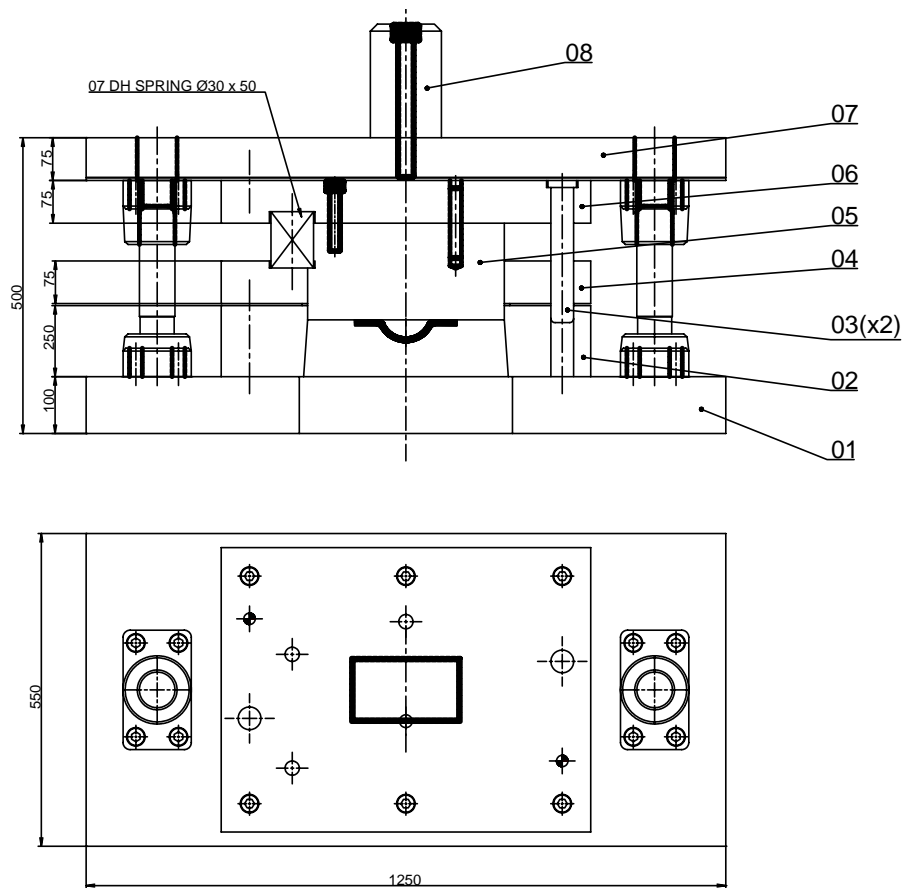
Nguyên Công 10: Chế tạo chi tiết kết nối vào dây cáp bằng phương pháp dập nóng ($t=1500^{\circ}\text{C}$)



Hình 4.11: Bản vẽ chế tạo chi tiết trục nối ổ vào dây cáp



a) Nguyên công dập thô



b) Nguyên công dập tinh

Hình 4.12: Khuôn dập tại hồng của bộ TTNL

Sau khi dập ta chuyển các chi tiết trên sang nguyên công khoan, phay, làm sạch bề mặt và nhuộm màu đen.

Nguyên công 12: Khoan các lỗ lắp ghép bulông trên các mặt của chi tiết tại hồng, mặt bích

- Chọn mũi khoan, ta rô: Ø22, Ø11, M10 để khoan các lỗ lắp ghép bulông trên bề mặt các chi tiết kết nối.
- Máy khoan: Chọn loại máy khoan đứng.

Nguyên công 13: Phay, mài tinh các mặt phẳng của các chi tiết kết nối bộ tiêu tán năng lượng vào dây cáp và cầu (tấm 1, tấm 2, tấm 3)

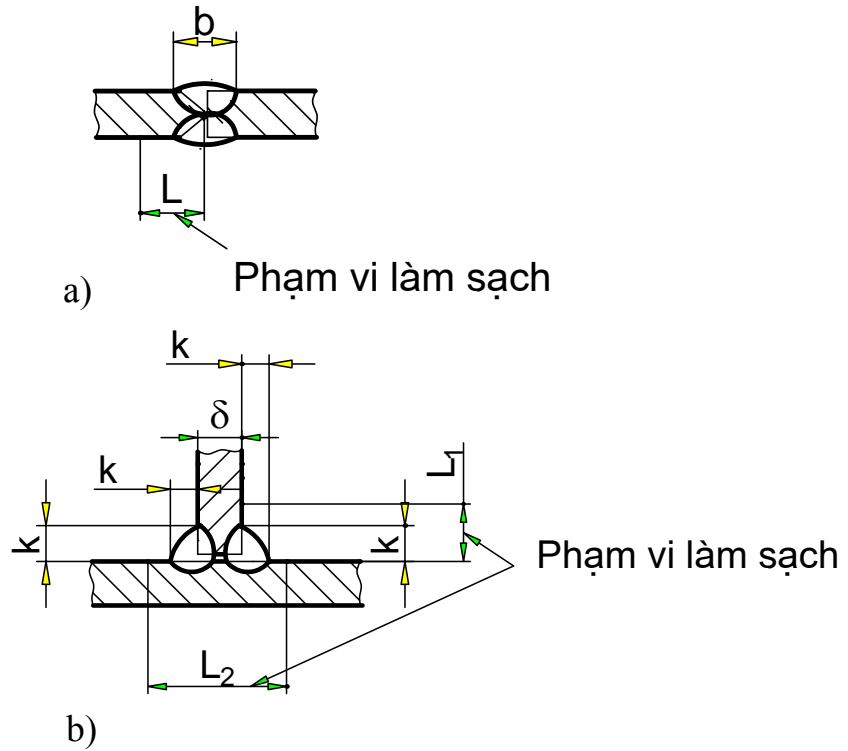
$$L_1 = K + (5 \div 10 \text{ mm})$$

$$L_2 = \delta + 2K + (5 \div 10 \text{ mm})$$

$$L_3 = \delta + 2h + (5 \div 10 \text{ mm})$$

b- chiều rộng mỗi hàn

k- cạnh mỗi hàn góc



Hình 4.14: Chuẩn bị mép các chi tiết hàn

Bảng 3. Tiêu chuẩn vát mép, lắp ghép và hàn

Kiểu môi hàn	KẾT CẤU MÔI HÀN	S	S ₁ Không nhỏ hơn	a	k
N ^o 1		2-2,5	0,7S	0 ⁺¹ 0 ⁺²	3 ⁺²
		3-4,5			4 ⁺² ₋₁
		5-6		0 ⁺³	5 ⁺² ₋₁
		7-9			6 ⁺² ₋₁
		10-15			7 ⁺²
		16-21			8 ⁺²
		22-30			8 ⁺²
N ^o 2		2-2,5	0,7S	0 ⁺¹	3 ⁺²
		3-4,5		0 ⁺²	4 ⁺² ₋₁
		5-6			

		7-9				5_{-1}^{+2}
		10-15				6_{-1}^{+2}
		16-21				$7^{\pm 2}$
		22-30			0^{+3}	$8^{\pm 2}$
N° 3		S	S ₁	a=e	b Không lớn hơn	c
		4 6 8 10 12 14 16	0,7S	0^{+1} 2_{-2}^{+1}	10 14 16 20 22 26 28	3_{-3}^{+1} 4_{-3}^{+3}
N° 4		S	S ₁	e	b Không lớn hơn	c_{-3}^{+3}
		12- 16 18- 22 24- 28 30- 34 36- 40 42- 46	0,7S	4-5 6-7 8-9 10- 11 12- 13 14- 15	16 20 22 26 28 30	3 5 6 6 8
N° 5		S=S ₁	h	b Không lớn hơn	c	
		12-14	5-6	18	$0,5_{-0,5}^{+2}$	
		16-18	7-8	20		
		20-22	9-10	22		
		24-26	11-12	26	$0,5_{-0,5}^{+3}$	
		28-30	13-14	28		

N ^o 6		S	S ₁	b	k	
		8	≥0,7S	13 ⁺³	4	
		9		15 ⁺³	5	
		10				
		12				
		14		20 ⁺³ ₋₃	6	
		16		25 ⁺⁴ ₋₄		
		18				
		20				

Nguyên Công 15: Mạ Crôm, kềm các chi tiết cần piston, đầu piston, mạ kềm các chi tiết kết nối với râm cầu, nhuộm chi tiết tại hồng kết nối với dây cáp

Nguyên Công 16: Sơn màu bộ tiêu tán năng lượng bằng công nghệ sơn ô tô.

- Làm sạch bề mặt bộ tiêu tán năng lượng bằng giấy ráp tinh.
- Dùng băng dính để cuốn che phần trục piston
- Sơn lớp thứ nhất là lớp sơn lót
- Sơn lớp thứ hai là lớp sơn chính thức
- Sơn lớp thứ ba là lớp sơn bóng
- Sấy ở nhiệt độ 50^o C để làm căng bề mặt lớp sơn bóng, tăng độ bóng, đẹp trong 5 giờ.
- Bao gói bằng vải, cho vào hộp giấy.

Nguyên công 17: Lắp ráp các chi tiết chế tạo thành bộ tiêu tán năng lượng

Các khớp nối bằng bu-lông phải được thiết kế và hoàn thiện phù hợp với các thực tiễn kỹ thuật và tuân theo các tiêu chuẩn đã được chấp thuận. Tất cả các lỗ bu-lông phải được khoan, đục theo yêu cầu sao cho khớp với bu-lông với độ chính xác thích hợp. Các bu-lông phải có vòng đệm và khoá hãm như yêu cầu. Các bộ phận để ghép chính xác phải được lắp với các chốt dẫn hướng. Nói chung, các lỗ để bắt bu-lông, đai ốc phải có cùng khả năng bảo vệ chống han rỉ như các thiết bị còn lại (chủ thể).

Bu-lông và đai ốc phải có các đường ren tiêu chuẩn tính theo hệ mét và phải được chế tạo từ thép không gỉ.

Tất cả các khớp nối bằng bu-lông và đai ốc phải được bảo vệ chống han rỉ thích hợp. Tất cả các bu-lông, đai ốc, đinh và vít (bao gồm cả các vòng đệm) đều phải được chế tạo từ thép không gỉ hoặc được mạ kềm nóng với chất lượng. Bu-lông và vít có đầu kiểu lục giác.

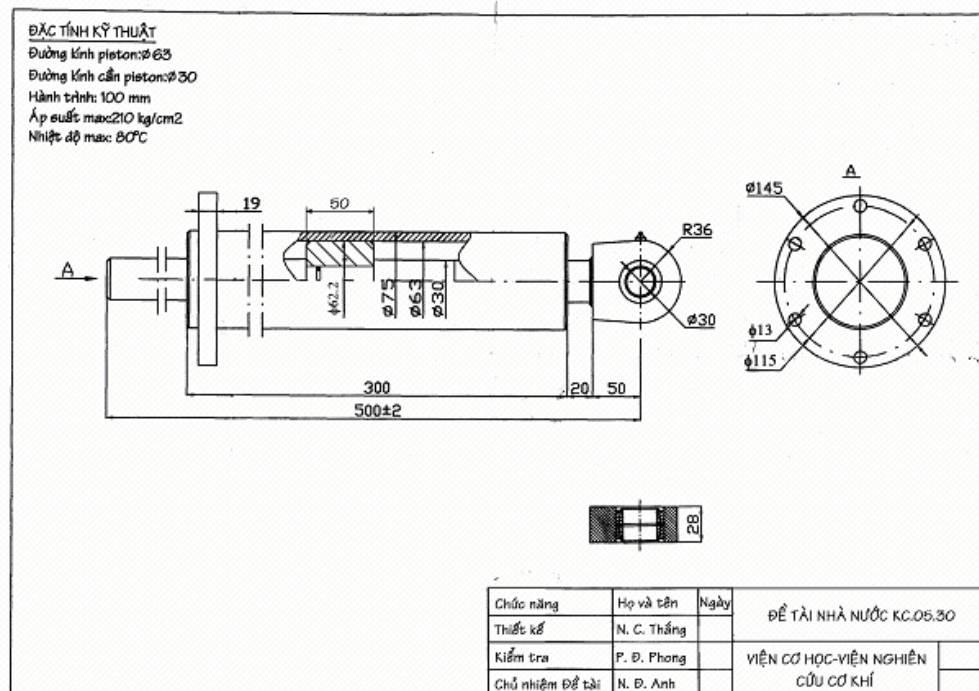
Bảng 5.1. Chi tiết thành phần của bộ cản nhớt của IM-NARIME

Nhà chế tạo	IM - NARIME	
Khả năng dịch chuyển (hành trình)	150	mm
Lực cản nhớt thiết kế	100	kN
Khoang chứa/ bể chứa phụ	Không cần do cán piston ở 2 phía	
Chất cản nhớt	Dầu Silicon 1000	cSt

Chi tiết thí nghiệm

Tần số lực(Hz)	1	2	3	1
Nhiệt độ kiểm tra ($^{\circ}\text{C}$)	30	30	30	
Số chu kỳ	5	5	5	1000
Biên độ dịch chuyển (mm)	5	5	5	10
Biên độ vận tốc (mm/s)	30	60	90	60

Bảng 5.2. Chi tiết thí nghiệm của IM- NARIME



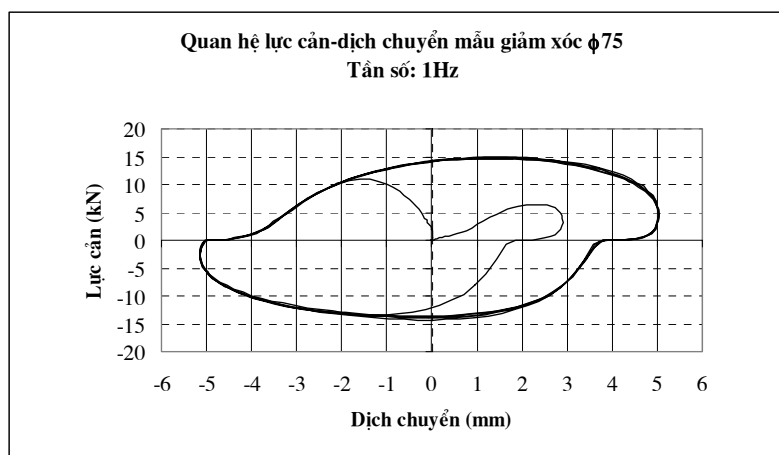
Hình 5.1. Bản vẽ bộ TTNL của IM-NARIME

Các chi tiết về các bản thiết kế xin xem trong “Hồ sơ thiết kế kỹ thuật”.

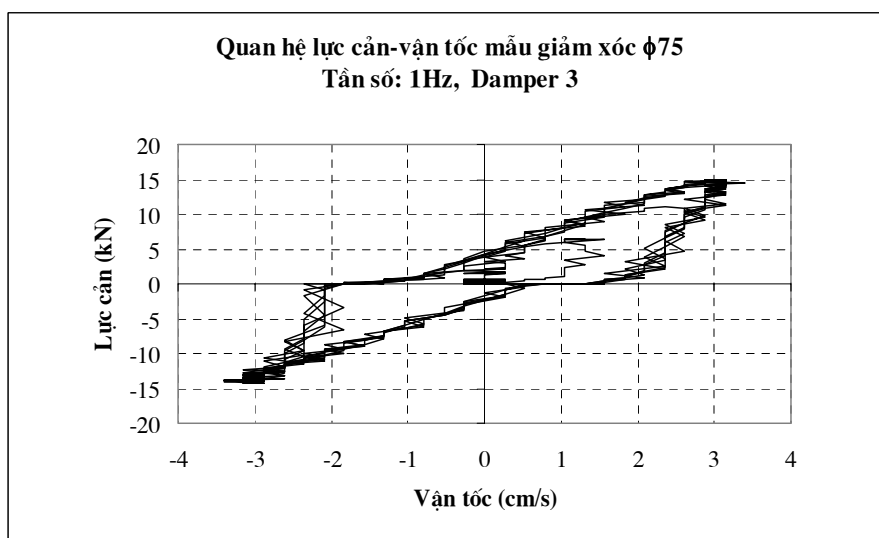


Hình 5.2. Bộ TTNL do IM-NARIME chế tạo

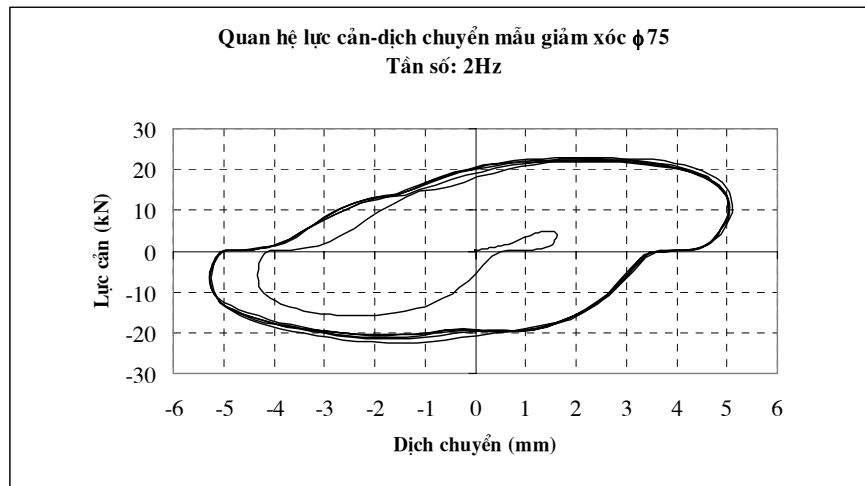
Dưới đây là một số kết quả thí nghiệm về thiết bị TTNL thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng.



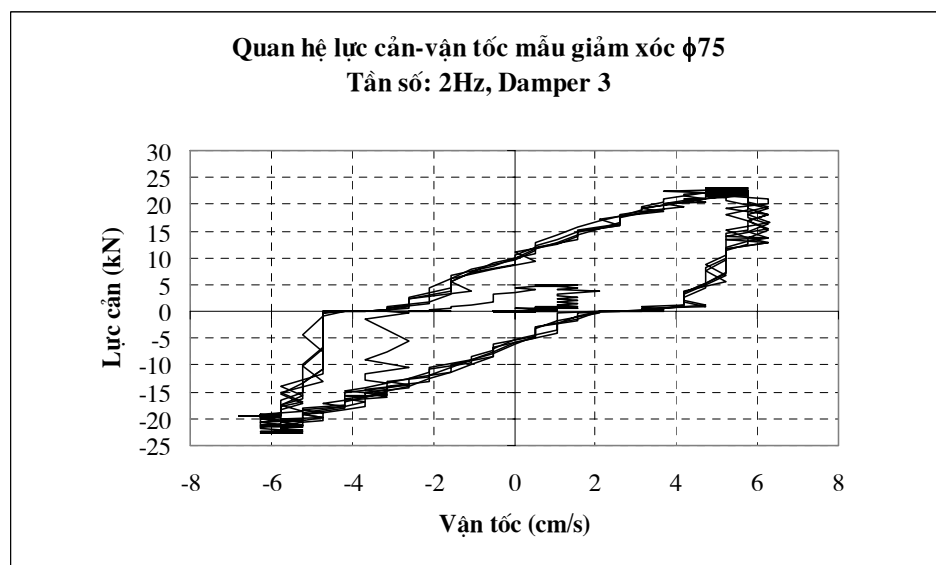
Đồ thị 5.1. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 1 Hz, biên độ 5 mm.



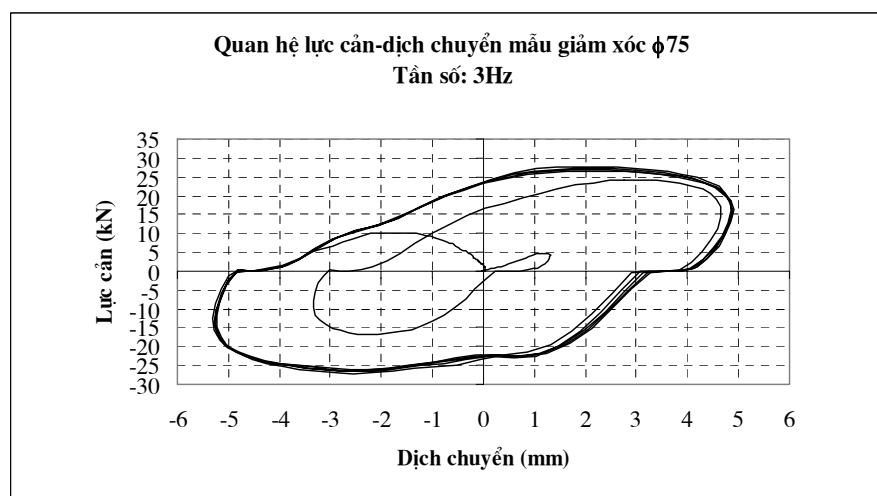
Đồ thị 5.2. Quan hệ Lực-vận tốc với tần số 1 Hz, biên độ 5 mm.



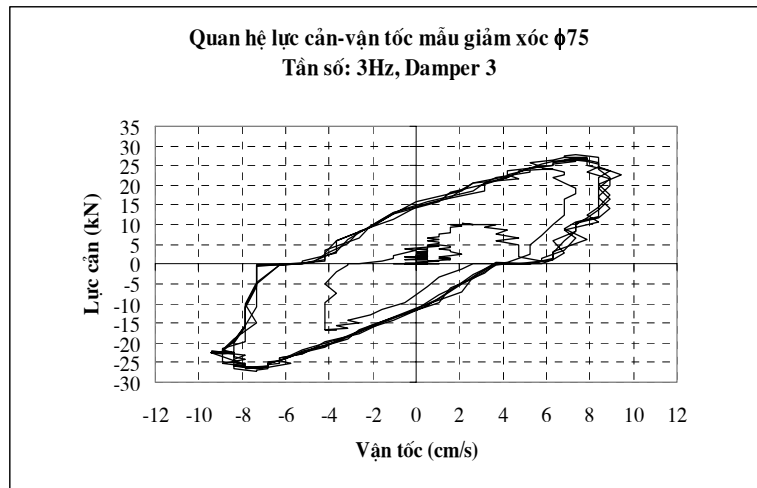
Đồ thị 5.3. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 2 Hz, biên độ 5 mm.



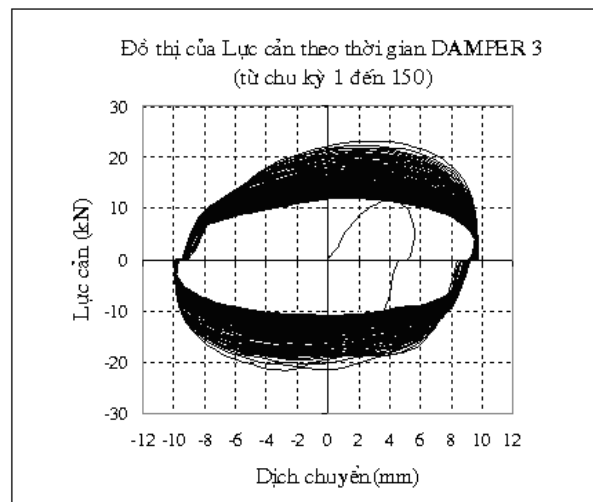
Đồ thị 5.4. Quan hệ Lực-vận tốc với tần số 2 Hz, biên độ 5 mm



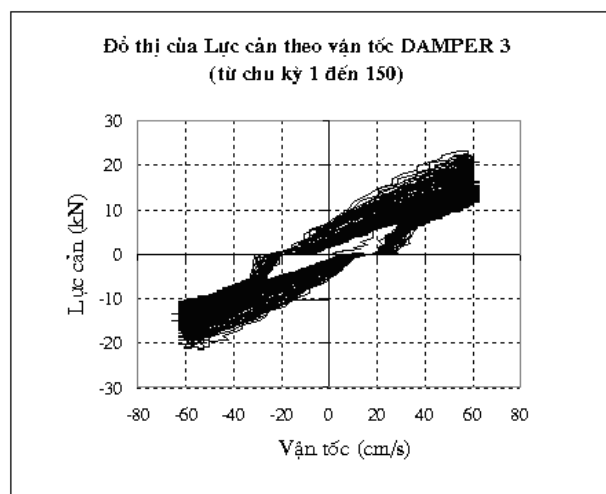
Đồ thị 5.5. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 3 Hz, biên độ 5 mm.



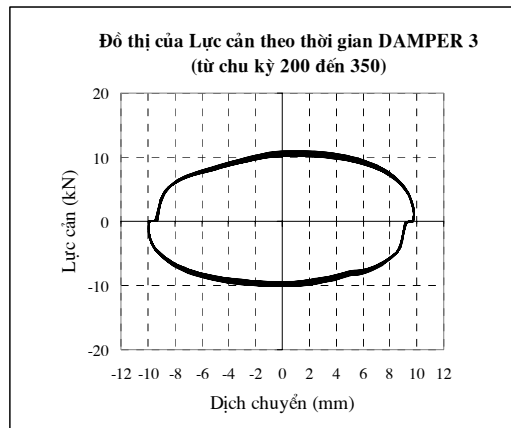
Đồ thị 5.6. Quan hệ Lực-vận tốc với tần số 3 Hz, biên độ 5 mm.



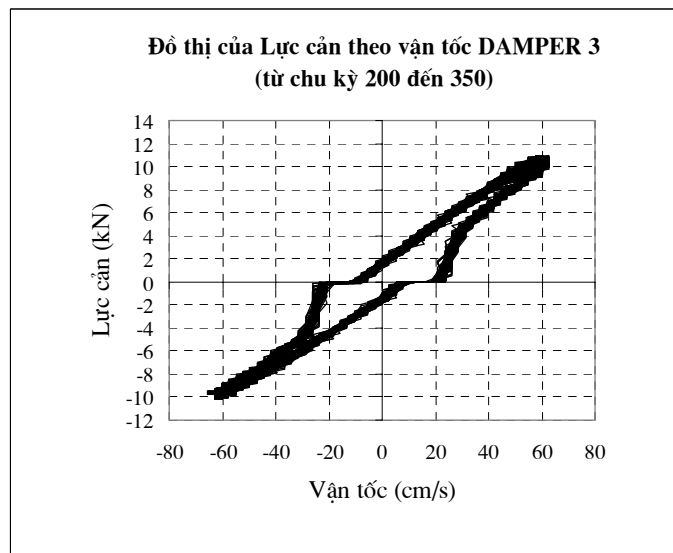
Đồ thị 5.7. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



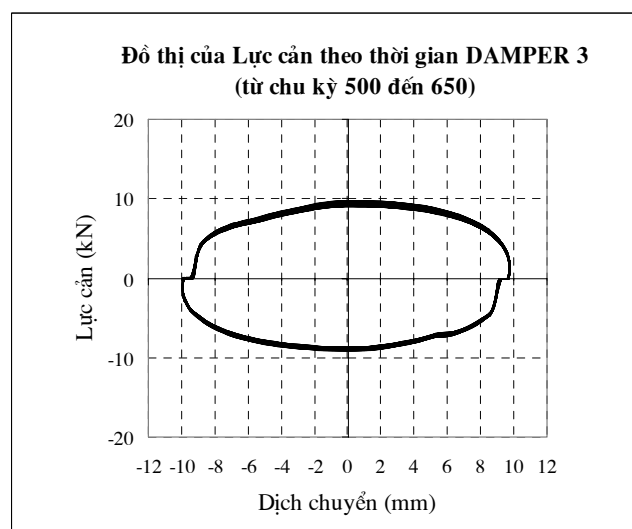
Đồ thị 5.8. Quan hệ Lực-vận tốc tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



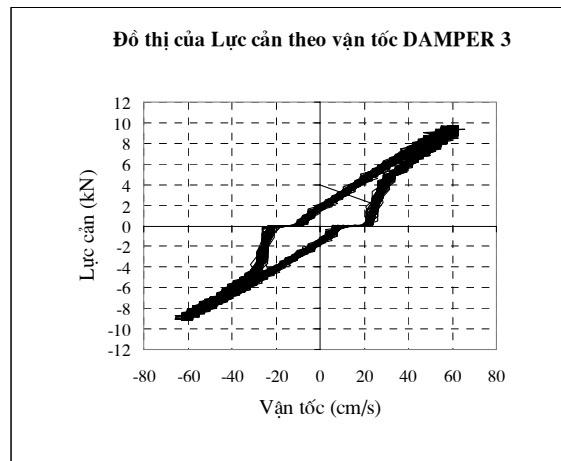
Đồ thị 5.9. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



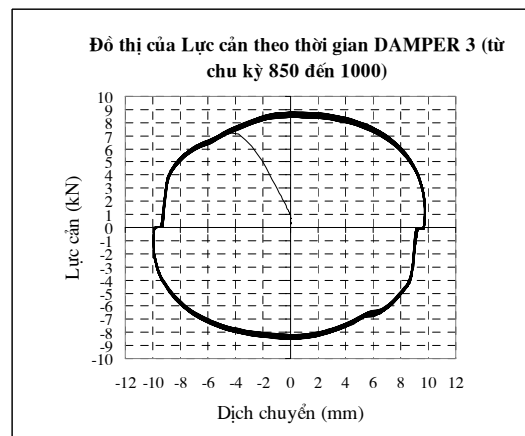
Đồ thị 5.10. Quan hệ Lực-vận tốc tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



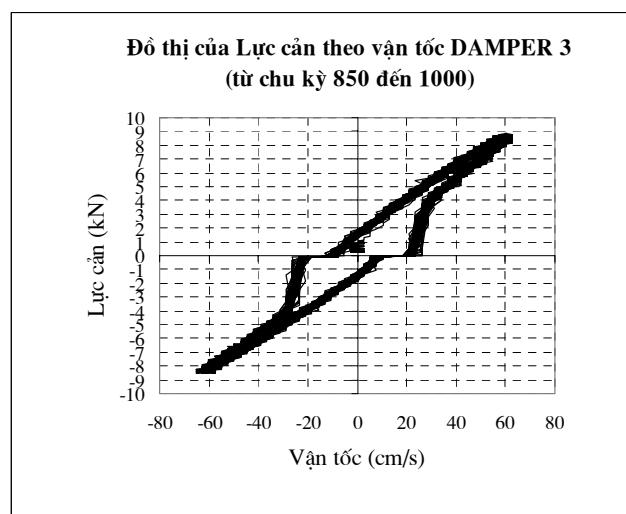
Đồ thị 5.11. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



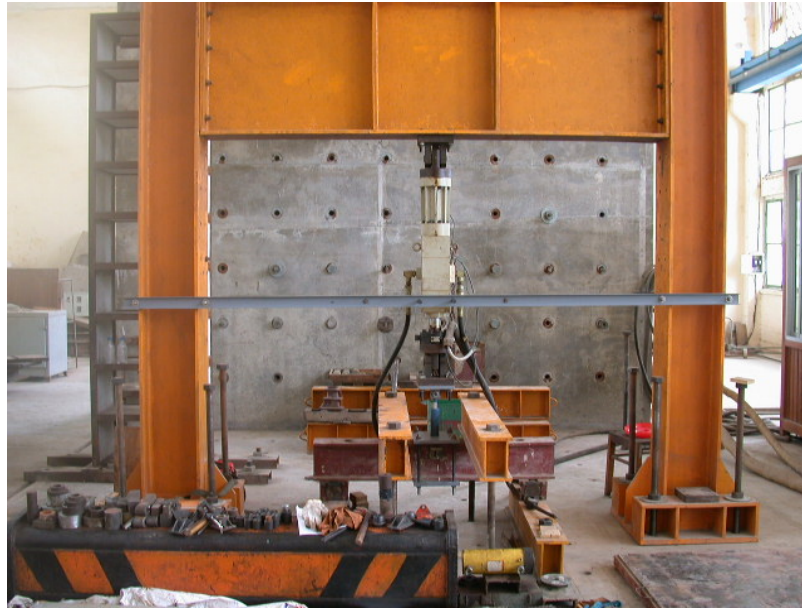
Đồ thị 5.12. Quan hệ Lực-vận tốc tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



Đồ thị 5.13. Quan hệ Lực-dịch chuyển với tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



Đồ thị 5.14. Quan hệ Lực-vận tốc tần số 1 Hz, biên độ 10 mm, 150 s



Hình 5.15. Bố trí thí nghiệm thí nghiệm đánh giá chất lượng thiết bị TTNL

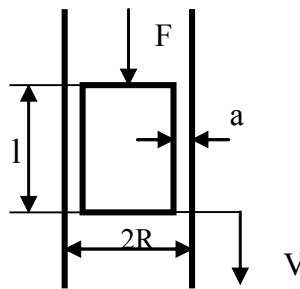
Các thiết bị TTNL cần nhớt đều có chất lượng thoả mãn các yêu cầu về kiểm tra. Các biên bản kiểm tra chất lượng của các thiết bị TTNL cần nhớt xin xem chi tiết ở phần Phụ Lục “ Các biên bản Kiểm tra kỹ thuật thiết bị TTNL”.

Kết luận

Trong trường hợp dòng chảy tầng và dừng, chất lỏng không nén được, công thức liên hệ giữa lực và vận tốc là $F=CV$. Việc tính toán dòng chảy qua lỗ khoan và qua khe hở giữa piston và thành trong của xy lanh là cơ sở để chế tạo bộ TTNL. Các công thức thu được sẽ được làm cơ sở để thiết kế và chế tạo các bộ TTNL cần thiết. Kết quả thí nghiệm các bộ cần thiết thu được phù hợp sự tính toán, bản vẽ thiết kế và cho kết quả sai lệch giữa thực nghiệm và lí thuyết là $\pm 5\%$.

Tính toán số

Trên hình 4.3 là sơ đồ của piston bộ TTNL.



Hình 4.3. Piston bộ TTNL

Bằng phương pháp gần đúng coi dòng chảy tầng trong khe hở giữa piston và xy lanh như dòng chảy giữa hai mặt phẳng, công thức liên hệ giữa lực tác dụng lên piston và vận tốc của piston của bộ TTNL như sau:

$$F = CV \quad (0.1)$$

Trong đó, - $C = \frac{A}{\Pi_1}$

- $A = \pi R^2$

- $\Pi_1 = \frac{a^3}{6\mu l(R + a)}$

- a là khe hở giữa piston và xy lanh

- R là bán kính trong của xy lanh

- l là chiều dài của piston.

Với các giá trị cho trước của bộ TTNL như sau:

$$R = 3.15 \cdot 10^{-2} (m), l = 5 \cdot 10^{-2} (m), a = 0.4 \cdot 10^{-3} (m), \mu = 980 \cdot 10^{-3} (kg / m / s)$$

$$V = 6 \cdot 10^{-2} (m / s), \sigma_b = 5900 (kG / cm^2)$$

Giá trị tính được của $F=27408$ (N).

- Điều kiện chảy tầng của bài toán được kiểm tra theo công thức sau:

$$R_e = \frac{v_{tb} R}{\nu} = \frac{\frac{Q}{\omega} \frac{\omega}{\chi}}{\nu} = \frac{AV}{\nu \chi} = \frac{\pi R_2^2 V}{\nu 2\pi (R_1 + R_2)} =$$

$$= \frac{(3.11 * 10^{-2})^2 * 6 * 10^{-2}}{2 * (3.15 + 3.11) * 10^{-2} * 1000 * 10^{-6}} = 0.46 < 580$$

Trong đó, R_e là hệ số Reynol <580 là chảy tầng, R là bán kính thuỷ lực, v_{tb} là vận tốc trung bình của dòng chảy, ν là độ nhớt động học của chất cản nhớt, χ là chu vi ướt, ω là tiết diện dòng chảy. Như vậy, giả thiết chảy tầng từ ban đầu đã được chứng minh là đúng.

V. ÁP DỤNG THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG ĐỂ GIẢM DAO ĐỘNG CHO CẦU BẾN CỐC, HÀ TÂY

1. Kết quả đánh giá hiệu quả giảm dao động của dây cáp khi dây cáp được lắp thiết bị TTNL so với dây cáp không lắp thiết bị TTNL

Công việc nghiên cứu được tiến hành qua việc nhiều lần đo dao động của các dây cáp khi một số dây cáp được lắp thiết bị TTNL so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn tại cầu dây văng Bến Cốc (ngoài ra có tiến hành thí nghiệm rút gọn tại cầu dây văng Ngòi Lăn, Yên Bái).

Mục đích của công việc nghiên cứu thực nghiệm là đánh giá sự suy giảm của các đặc trưng dao động của dây cáp như gia tốc, tần số và dịch chuyển khi dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không được lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Bến Cốc (và cầu treo Ngòi Lăn). Qua đó phát triển công nghệ giảm dao động nhằm nâng cao độ bền, độ ổn định và tuổi thọ, giảm chi phí bảo dưỡng và sửa chữa cho các cầu dây văng và dây văng ở Việt Nam.

a. Máy móc thiết bị thí nghiệm và quá trình đo dao động của dây cáp

Máy móc, thiết bị thí nghiệm đo dao động của dây cáp.

- + Máy đo với tải động DMC – Plus của Cộng Hoà Liên Bang Đức máy được điều khiển và đo hoàn toàn nhờ vào chương trình của máy vi tính.
- + Máy tính xách tay Compag của Mỹ với chương trình đo và xử lý kết quả đo dao động.
- + Máy đo dao động của Hãng IMV, Nhật Bản
- + Máy đo và phân tích dao động 16 kênh DEWEBOOK cùng phần mềm DASyLab 5.6.

- Dùng 2 đầu đo gia tốc trên 2 dây cáp.

Vị trí và phương đo:

- Đo trên 2 dây cáp ngoài cùng theo phương dao động của dây.
- Vị trí gắn đầu đo là 3m tính từ chân dây cáp.

Chế độ đo:

- Tần số lấy mẫu: 10Hz, Dt=0,05s
- Đo 2 đầu cầu: trước và sau khi gắn damper, mỗi trường hợp đo 10 lần.

Hai đầu đo dao động được cấu tạo theo nguyên lý cảm ứng điện từ. Các đầu đo dao động được gắn chặt lên dây cáp. Dưới tác động của tải trọng động, dây cáp treo ở cầu sẽ dao động, làm đầu đo dao động sẽ dao động theo dây cáp. Quả nặng bằng thép trong đầu đo dao động sẽ dịch chuyển lên xuống làm thay đổi dòng điện của

các cuộn dây cảm ứng trong đầu đo dao động. Các tín hiệu thay đổi của dòng điện cảm ứng điện từ khi qua máy đo dao động sẽ biến đổi từ dạng tương tự sang dạng số, rồi được khuếch đại và qua dây dẫn truyền vào chương trình đo và xử lý kết quả của máy tính.

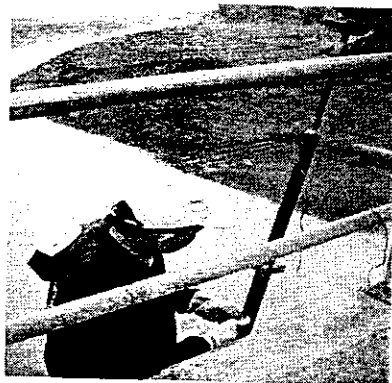
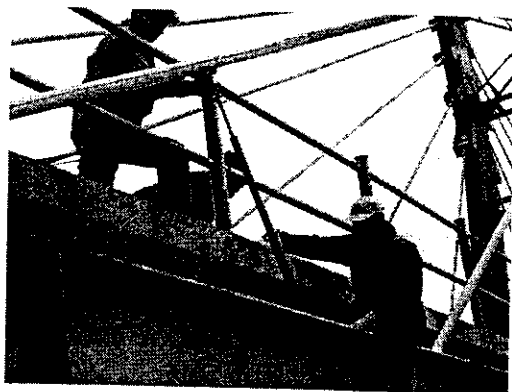
Quá trình đo dao động của dây cáp

Công việc thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp, khi dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn được tiến hành nghiên cứu thực nghiệm ở ngoài hiện trường như sau:

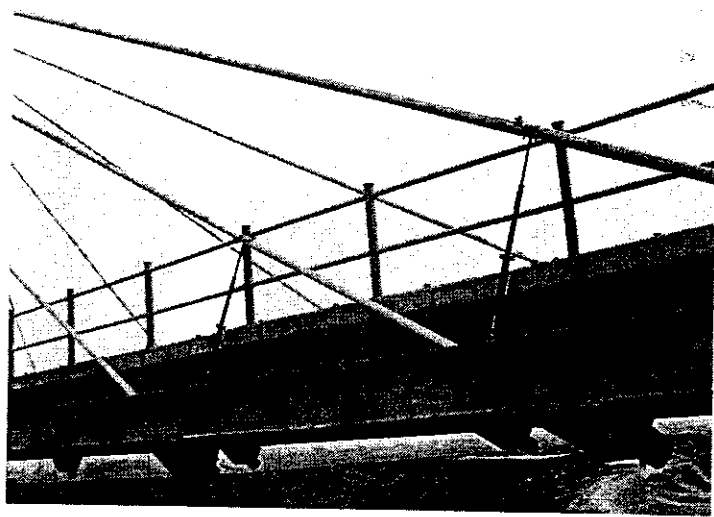
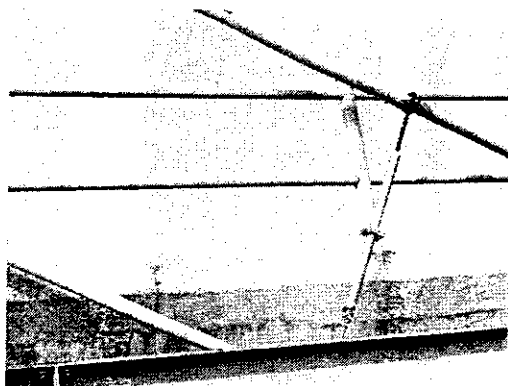
Máy đo dao động được điều khiển quá trình đo theo chương trình của máy vi tính. Hai đầu đo dao động được gắn chặt vào 2 điểm đo trên 2 dây cáp của cầu. Đầu đo dao động được gắn vuông góc với dây cáp. Các tín hiệu đo dao động ở hai đầu đo dao động tại hai điểm đo được hoạt động. Đồng thời cùng một lúc và qua chương trình điều khiển quá trình đo của máy vi tính được miêu tả thành hai đồ thị của hàm gia tốc theo thời gian $a = f(t)$. Dựa vào chương trình đo và xử lý kết quả đo dao động, chúng ta xác định được tần số giao động của dây cáp theo hàm của mật độ phổ $S = F(t)$ và chuyển vị của dây cáp là hàm của thời gian $U = f(t)$.

b. Lắp đặt các thiết bị TTNL cản nhót tại cầu dây văng Bến Cốc

Việc lắp đặt thiết bị TTNL và tiến hành đo dao động đã được thực hiện nhiều lần từ cuối năm 2004 với lần cuối cùng vào ngày 10 tháng 12 năm 2005 với sự cho phép của các cơ quan quản lý cầu, cụ thể là Sở Giao thông Hà Tây và Phòng Giao thông nông thôn. Lần lắp nhiều thiết bị nhất bao gồm 16 thiết bị TTNL trong đó 8 thiết bị cho 8 dây ngoài cùng ở hai đầu cầu (mỗi đầu cầu gồm 4 dây, xin xem chi tiết cấu tạo cầu Bến Cốc ở Phần II của Báo cáo), và 8 thiết bị cho 8 dây ngoài ở khu giữa cầu. Lần ít nhất gồm có 4 thiết bị TTNL lắp ở 4 dây ngoài cùng ở hai đầu cầu với mục đích để thể hiện rõ sự dao động nổi trội của các dây không lắp so với dây có lắp thiết bị. Dưới đây là một số hình ảnh lắp thiết bị vào cầu.



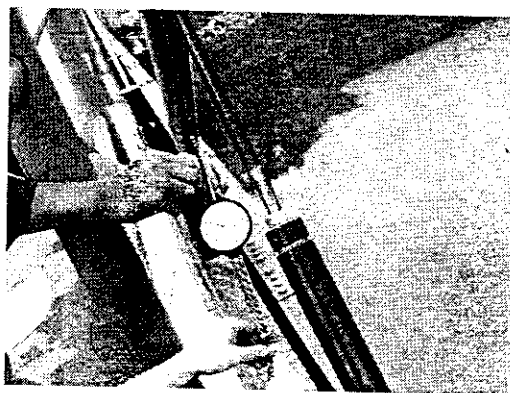
Hình 1.1. Lắp thiết bị TTNL vào các dây cáp



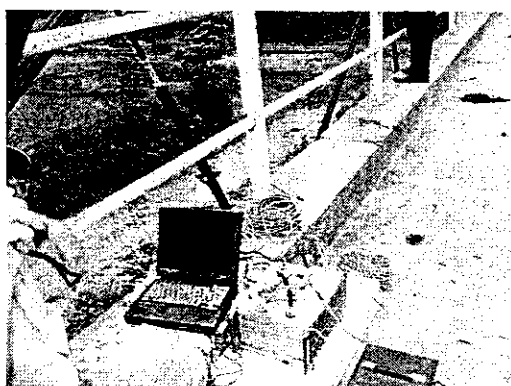
Hình 1.2. Các thiết bị TTNL đã lắp xong vào các dây cáp

c. Lắp đặt thiết bị đo dao động

Sau khi lắp đặt thiết bị đo đã tiến hành lắp đặt các thiết bị đo. Dưới đây là một số hình ảnh.



Hình 1.3. Lắp đầu đo dao động vào các dây cáp

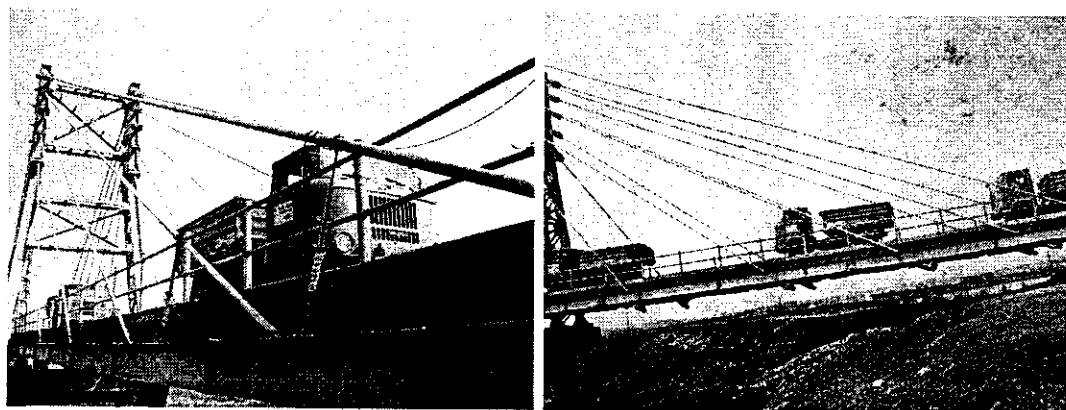


Hình 1.4. Lắp đặt thiết bị đo dao động

d. Tiến hành gây tải trọng lên cầu

Quá trình thử tải và đo dao động được tiến hành theo qui định tạm thời về đánh giá chất lượng thiết bị TTNL đối với cầu dây văng. Qui định này được soạn thảo và hiệu chỉnh bởi các cán bộ chuyên môn của Viện KHCN Giao thông Vận tải, Trường Đại học Giao thông và Vận Khoa học Công nghệ, Bộ GTVT (Chi tiết xem trong Phụ Lục). Hệ thống gia tải động được gây ra bởi đoàn 4 xe trọng tải 12 tấn chạy với vận tốc khoảng 25-35km/h. Dưới đây là một số hình ảnh thử tải ở cầu Bến Cốc.





Hình 1.5. Các ô tô đang tiến hành thử tải



Hình 1.6. Các chuyên gia tham dự thử nghiệm tại cầu Bến Cốc

e. Kết quả thí nghiệm đo sự suy giảm dao động của dây cáp, khi dây cáp được lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn

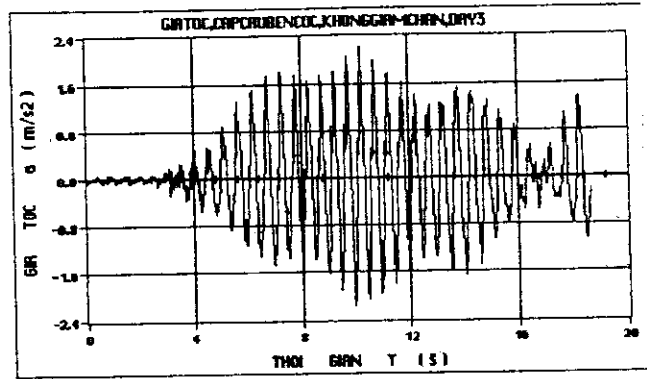
Theo hướng từ Hà Nội đến, các điểm đo dao động trên dây cáp bao gồm:

- Phía bên phải của cầu treo Bến Cốc, ở trụ cầu số 1, có các điểm đo dao động tại dây số 1, dây số 2, dây số 13, dây số 14.
- Phía bên trái của cầu treo Bến Cốc, ở trụ cầu số 1, có các điểm đo dao động tại dây số 3, dây số 4, dây số 15 và dây số 16.
- Phía bên phải của cầu treo Bến Cốc, ở trụ cầu số 2, có các điểm đo dao động tại dây số 5, dây số 6, dây số 9 và dây số 10.
- Phía bên trái của cầu treo Bến Cốc, ở trụ cầu số 2, có các điểm đo dao động tại dây số 7, dây số 8, dây số 11 và dây số 12.

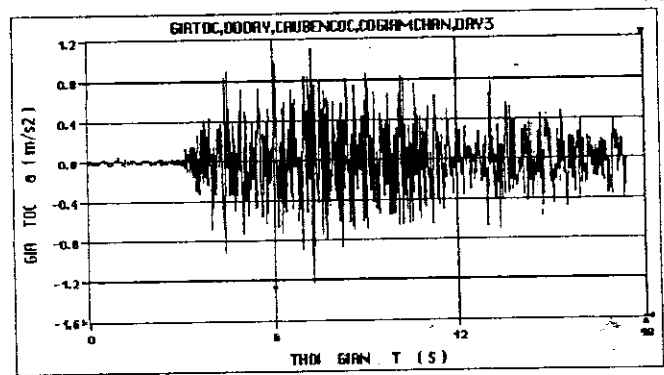
Từ kết quả thí nghiệm đo sự suy giảm dao động tại các điểm đo trên dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn ở cầu treo Bến Cốc, chúng ta nhận được các giá trị gia tốc, tần số dao động, chuyển vị của dây cáp ở các bảng 1-4.

+ Đồ thị dịch chuyển và gia tốc của một số dây cáp tiêu biểu như sau:

Dây số 3:



a (không giảm chấn)



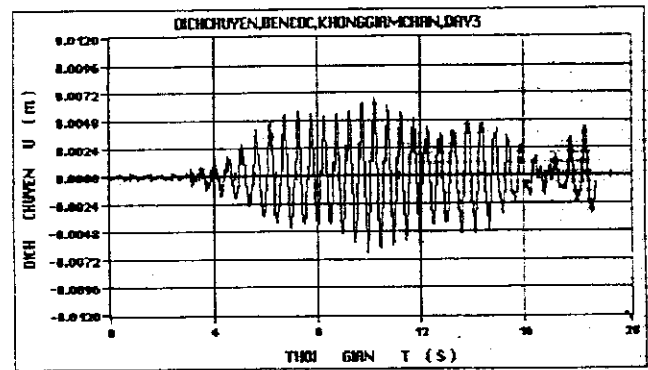
Hình 1.7: Đồ thị gia tốc của dây cáp số 3
trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

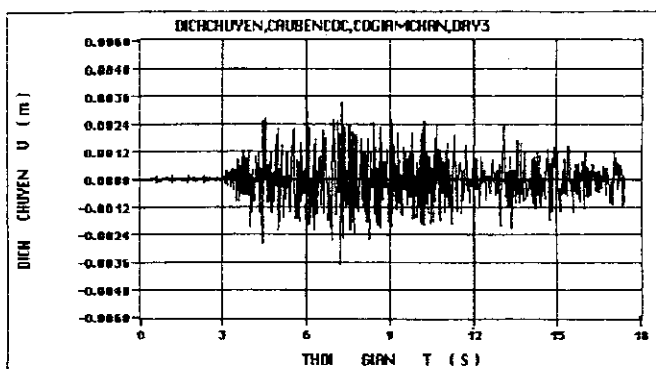
Gia tốc trong trường hợp không có giảm chấn là: $2,20\text{m/s}^2$

Gia tốc trường hợp có giảm chấn là: $1,20\text{ m/s}^2$

Như vậy, tại dây cáp số 3 (dây ngoài) gia tốc giảm đi 45,45% khi dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.



a (không giảm chấn)



Hình 1.8: Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 3 trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

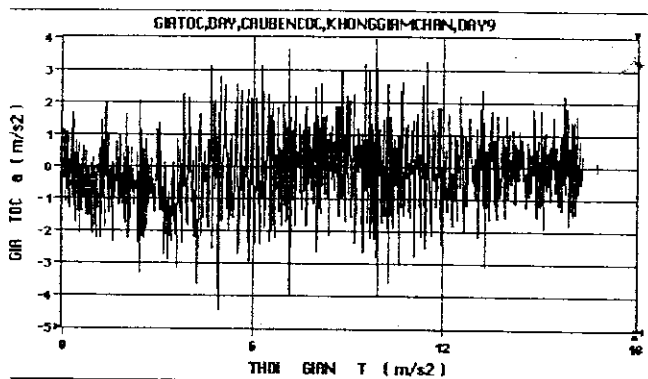
Nhận xét:

Biên độ chuyển vị trường hợp không giảm chấn là : 0.0068m.

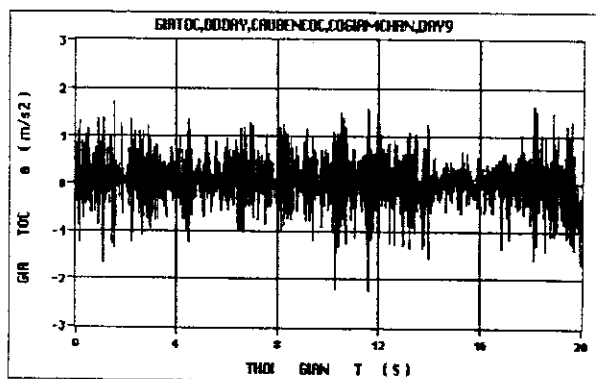
Biên độ chuyển vị trường hợp có giảm chấn là : 0.0035m.

Như vậy: Tại dây cáp số 3 (dây ngoài) chuyển vị giảm 48% đối với dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Dây số 9:



a (không giảm chấn)



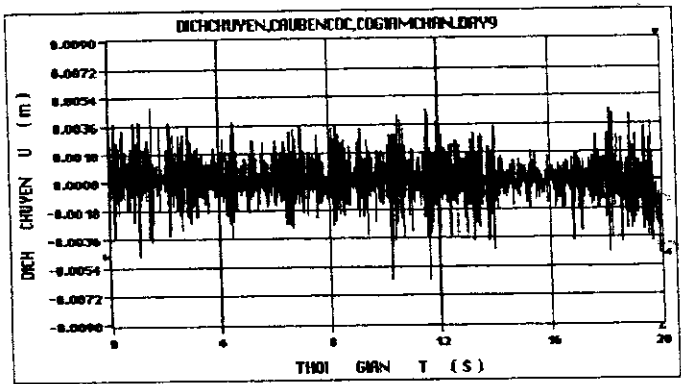
Hình 1.9: Đồ thị gia tốc của dây cáp số 9 trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

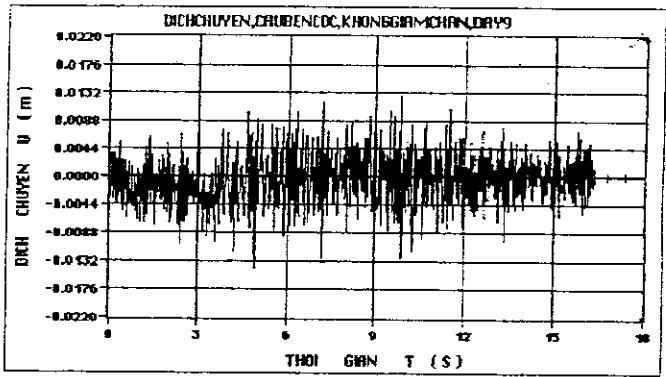
Gia tốc trường hợp không giảm chấn là :2.5 m/s²

Gia tốc trường hợp có giảm chấn là :1.63 m/s²

Như vậy : Tại dây cáp số 9 (dây ngoại) gia tốc giảm 34,8%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.



a (không giảm chấn)



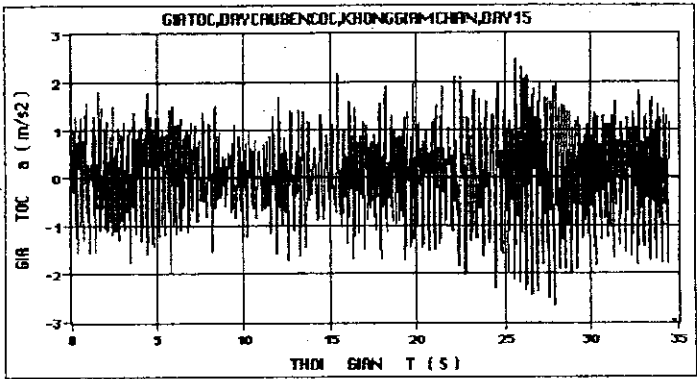
Hình 1.10: Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 9 trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

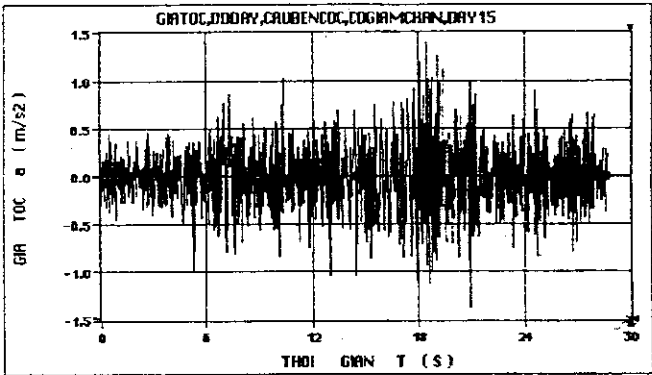
Biên độ chuyển vị trường hợp không giảm chấn là :0.0072m

Biên độ chuyển vị trường hợp có giảm chấn là :0.0046m

Như vậy : Tại dây cáp số 9 (dây ngoại) chuyển vị suy giảm 36,11%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.



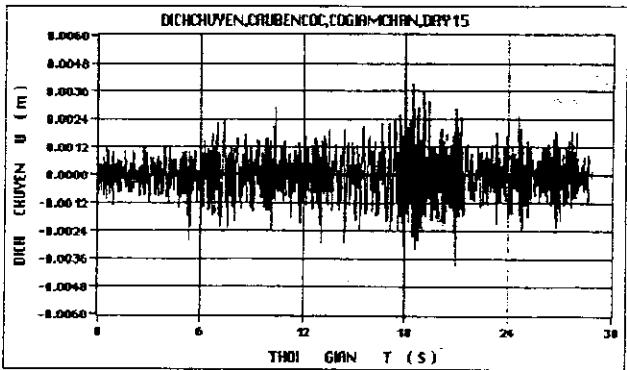
a (không giảm chấn)



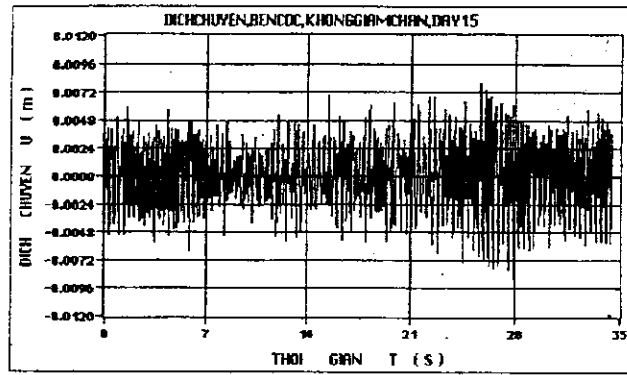
Hình 1.11: Đồ thị gia tốc của dây cáp số 15 trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

Gia tốc trường hợp không giảm chấn là : 2.21 m/s^2
Gia tốc trường hợp có giảm chấn là : 1.35 m/s^2
Như vậy: Tại dây cáp số 15 (dây ngoài) gia tốc giảm 38,91%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn



a (không giảm chấn)



Hình 1.12: Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 15
trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

Biên độ chuyển vị trường hợp không giảm chấn là : 0.0066m.

Biên độ chuyển vị trường hợp có giảm chấn là : 0.0039m.

Như vậy : Tại dây cáp số 15 (dây ngoài) chuyển vị giảm 40,9%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Kết quả chi tiết sẽ được trình bày dưới đây:

- Tại dây cáp số 3 (dây ngoài) gia tốc giảm 45,45%, chuyển vị giảm 48%, tần số dao động tăng 13,08%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 4 (dây trong) gia tốc giảm 52,35%, chuyển vị giảm 61,53%, tần số dao động tăng 24,69% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 9 (dây ngoài) gia tốc giảm 34,8%, chuyển vị giảm 36,11%, tần số dao động tăng 5,14% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 10 (dây trong) gia tốc giảm 40,25%, chuyển vị giảm 37,76%, tần số dao động tăng 21,15% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 11 (dây ngoài), gia tốc giảm 29,09%, chuyển vị giảm 33,33%, tần số dao động tăng 15,09% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây số 13 (dây ngoài) gia tốc giảm 34,78%, chuyển vị giảm 38,23%, tần số dao động tăng 7,29% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 14 (dây trong) gia tốc giảm 34,89%, chuyển vị giảm 37,5%, tần số dao động tăng 5,58%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 15 (dây ngoài) gia tốc giảm 38,91% chuyển vị suy giảm 40,9%, tần số dao động tăng 2,77%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 16 (dây trong) gia tốc giảm 47,61%, chuyển vị giảm 57,81%, tần số dao động tăng, tần số dao động tăng 6,36% khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Bảng 1. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp, không lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Bến Cốc.

Dây cáp số	Gia tốc a (m/s ²)	Chuyển vị U (m)
3	2,20	0,0068
4	2,12	0,0065
5	2,10	0,0060
6	1,90	0,0054
7	2,35	0,0069
8	2,40	0,0070
9	2,50	0,0072
10	2,31	0,0068
11	2,20	0,0066
13	2,30	0,0068
14	1,92	0,0056
15	2,21	0,0066
16	2,11	0,0064

Bảng 2. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp, không lắp thiết bị giảm chấn, tại cầu treo Bến Cốc.

Dây cáp số	Tần số dao động của dây cáp f (Hz)
3	$f = 1,99; 3,92; 5,74; 7,96$
4	$f = 1,93; 3,75; 5,39; 7,38$
5	$f = 1,816; 3,51; 5,68; 7,61$
6	$f = 1,87; 2,75; 4,8; 6,44$
7	$f = 1,81; 3,69; 5,33$
8	$f = 1,816; 2,75; 3,33; 5,09$
9	$f = 2,92; 5,97; 9,37; 15,11; 18,86; 20,97$
10	$f = 3,04; 6,56; 9,3; 15,46; 20,39$
11	$f = 2,98; 5,91; 8,61$
13	$f = 2,81; 5,50; 8,08; 10,42; 12,07$
14	$f = 1,99; 2,89; 3,86; 5,85; 8,96; 11,77$
15	$f = 2,92; 5,80; 8,77$
16	$f = 3,04; 6,21; 9,25; 12,89$

Bảng 3. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị cầu dây cáp, có lắp thiết bị giảm chấn, tại cầu treo Bến Cốc.

Dây cáp số	Gia tốc a (m/s ²)	Chuyển vị U (m)
1	1,68	0,0048
2	1,40	0,0040
3	1,20	0,0035
4	1,01	0,0025
9	1,63	0,0046
10	1,38	0,0043
11	1,56	0,0044
12	1,30	0,0038
13	1,50	0,0042
14	1,25	0,0035
15	1,35	0,0039
16	1,10	0,0027

Bảng 4: Kết quả đo tần số dao động của dây cáp, có lắp thiết bị giảm chấn, tại cầu treo Bến Cốc.

Dây cáp số	Tần số dao động của dây cáp f (Hz)
1	$f = 1,816; 2,167 ; 8,96 ; 11,77$
2	$f = 1,81; 2,226 ; 5,039; 6,328; 10,66; 14,12$
3	$f = 1,69; 4,51; 7,44; 11,54; 12,89; 15,23$
4	$f = 1,7; 2,81; 4,98; 10,66; 17,46$
9	$f = 2,75; 4,68; 9,25; 11,66; 14,02; 15,93; 18,10$
10	$f = 2,87; 4,68; 8,32; 12,89; 18,51; 20,56$
11	$f = 2,81; 3,51; 7,03; 12,42; 15,70$
12	$f = 1,75; 3,50; 6,15; 10,37; 14,29; 17,81$
13	$f = 1,87; 2,75; 5,62; 8,73 ; 13,02; 16,52; 18,33$
14	$f = 2,87; 5,21; 9,49; 12,48; 17,34; 21,09$
15	$f = 1,69; 2,80; 12,07; 16,93; 20,85$
16	$f = 1,60; 2,80; 12,07; 17,34$

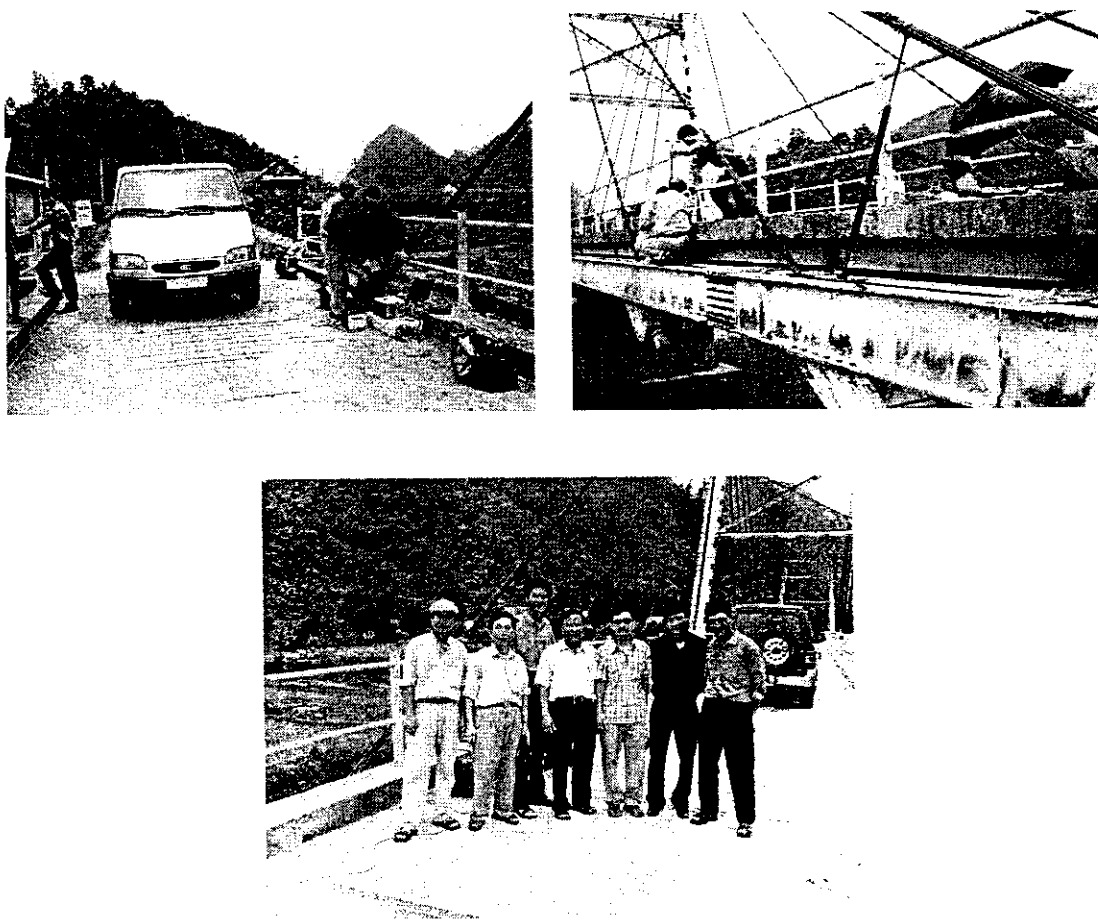
2. Kết quả đánh giá hiệu quả giảm dao động của dây cáp tại cầu Ngòi Lăn

Thí nghiệm đo sự suy giảm dao động cầu dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Ngòi Lăn.

Các điểm đo dao động trên dây cáp, theo hướng đi từ Yên Bái đến bao gồm:

- Phía bên phải của cầu treo Ngòi Lăn có các điểm đo dao động tại dây cáp số 1 và dây cáp số 2, ở trụ cầu số 1.
- Phía bên trái của cầu treo Ngòi Lăn có các điểm đo dao động tại dây cáp số 3 và dây cáp số 4, ở trụ cầu số 1.

Dưới đây là một số hình ảnh thí nghiệm ở cầu Ngòi Lăn.

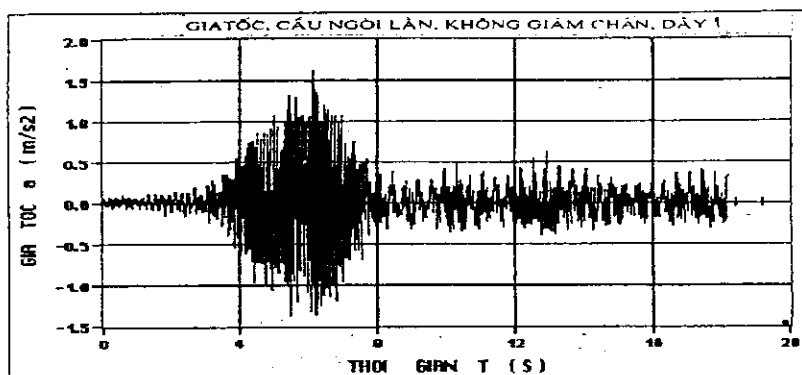


Hình 2.1: Thử nghiệm tại cầu Ngòi Lăn

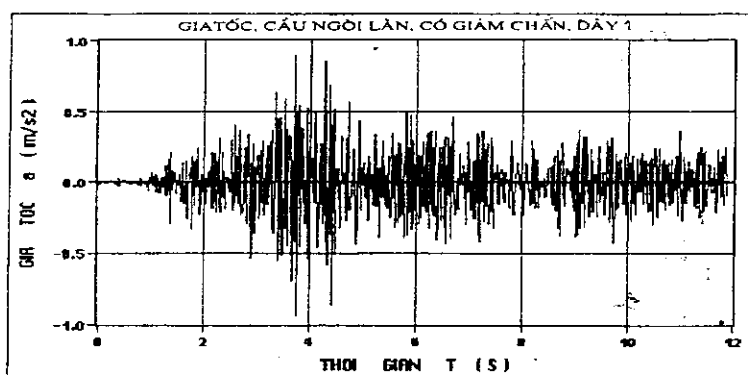
Từ kết quả thí nghiệm đo sự suy giảm dao động tại các điểm đo trên dây cáp có lắp thiết bị giảm chấn và không lắp thiết bị giảm chấn ở cầu treo Ngòi Lăn, chúng ta nhận được các giá trị gia tốc, tần số dao động và chuyển vị của dây cáp cho ở các Bảng 5 – 8.

+ Đồ thị dịch chuyển và gia tốc của một số dây cáp tiêu biểu như sau:

Dây số 1:



a (không giảm chấn)



b (có giảm chấn)

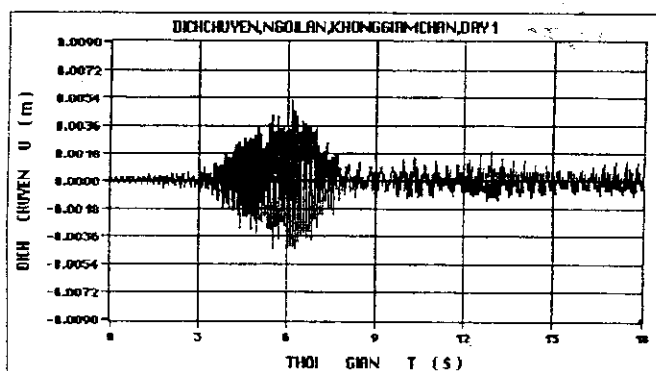
Hình 2.2: Đồ thị gia tốc của dây cáp số 1
trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

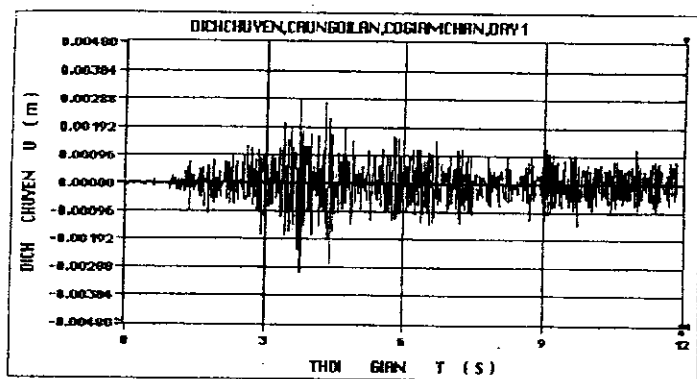
Gia tốc trường hợp không giảm chấn là : 1.55 m/s^2

Gia tốc trường hợp có giảm chấn là : 0.84 m/s^2

Như vậy: Tại dây cáp số 1 (dây ngoài) gia tốc suy giảm 45,8%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dâ cáp không lắp thiết bị giảm chấn .



a (không giảm chấn)



b (có giảm chấn)

Hình 2.3: Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 1

trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

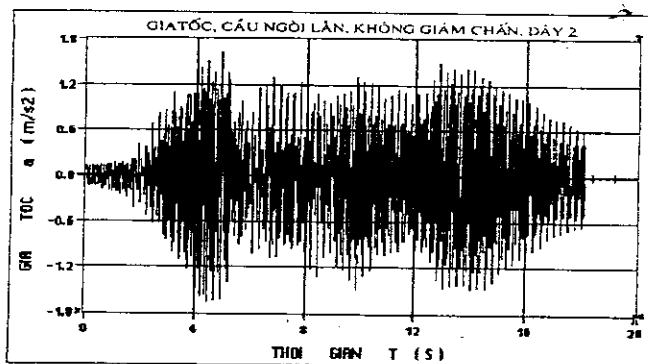
Nhận xét:

Biên độ dịch chuyển trường hợp không giảm chấn là : 0.0050m

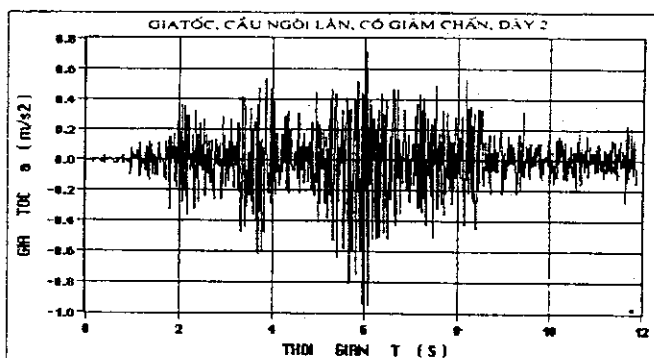
Biên độ dịch chuyển trường hợp có giảm chấn là : 0.0025m

Như vậy Tại dây cáp số 1 (dây ngoài) chuyển vị suy giảm 50%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dâ cáp không lắp thiết bị giảm chấn .

Dây số 2:



a (không giảm chấn)



b (có giảm chấn)

Hình 2.4: Đồ thị gia tốc của dây cáp số 2

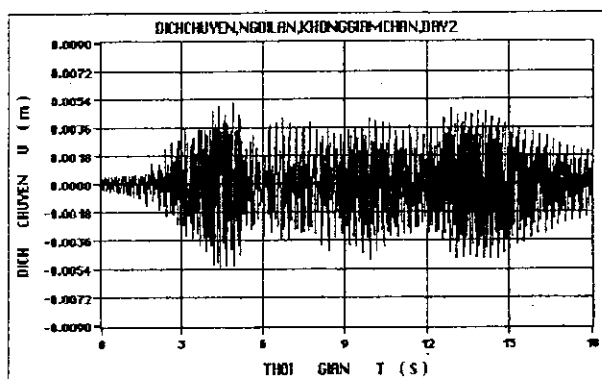
trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

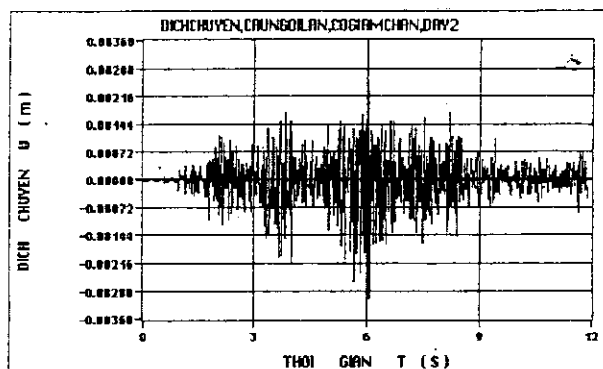
Gia tốc trường hợp không giảm chấn là :1.45 m/s²

Gia tốc trường hợp có giảm chấn là :0.76 m/s²

Như vậy Tại dây cáp số 2 (dây trong) gia tốc suy giảm 47,58%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.



a (không giảm chấn)



b (có giảm chấn)

Hình 2.5: Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 2 trường hợp không có (a) và có (b) giảm chấn

Nhận xét:

Biên độ dịch chuyển trường hợp không giảm chấn là :0.0048m

Biên độ dịch chuyển trường hợp có giảm chấn là :0.0020m

Như vậy Tại dây cáp số 2 (dây trong) chuyển vị suy giảm 58,33%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Kết quả tổng thể được trình bày dưới đây:

- Tại dây cáp số 1 (dây ngoài) gia tốc giảm 45,8%, chuyển vị giảm 50%, tần số dao động tăng 2,23%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dâ cáp không lắp thiết bị giảm chấn .
- Tại dây cáp số 2 (dây trong) gia tốc giảm 47,58%, chuyển vị giảm 58,33%, tần số dao động tăng 0,88%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 3 (dây ngoài) , gia tốc giảm 44.05%, chuyển vị ngoài 50%, tần số dao động tăng 2%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.
- Tại dây cáp số 4(dây trong) gia tốc suy giảm 45.65%, chuyển vị suy giảm 54.76%, tần số dao động tăng 2.16%, khi dây cáp lắp thiết bị giảm chấn so với dây cáp không lắp thiết bị giảm chấn.

Bảng 5. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp, không lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Ngòi Lăn.

Dây cáp số	Gia tốc $a(m/s^2)$	Chuyển vị $U(m)$
1	1.55	0.0050
2	1.45	0.0048
3	1.43	0.0046
4	1.38	0.0042

Bảng 6. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp, không lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Ngòi Lăn.

Dây cáp số	Tần số dao động riêng của dây cáp $f(Hz)$
1	2.63; 5.33; 7.96; 10.78; 12.24;
2	3.75; 5.60; 7.10; 8.027; 12.01;
3	2.63; 5.39; 8.19; 9.90; 11.01; 13.71;
4	4.10; 6.41; 8.32; 10.98; 12.30; 14.20; 16.64;

Bảng 7. Kết quả đo gia tốc và chuyển vị của dây cáp, có lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Ngòi Lăn.

Dây cáp số	Tần số dao động riêng của dây cáp $f(Hz)$
1	2.69; 5.35; 7.03; 9.14; 11.01; 12.07; 15.11
2	2.81; 5.65; 7.03; 8.90; 12.07; 16.75
3	2.82; 5.50; 8.08; 10.78; 11.64; 13.35;
4	3.39; 6.79; 8.50; 10.89; 12.07; 15.01; 17.21;

Bảng 8. Kết quả đo tần số dao động của dây cáp, có lắp thiết bị giảm chấn tại cầu treo Ngòi Lăn.

Dây cáp số	Gia tốc a(m/s ²)	Chuyển vị U(m)
1	0.84	0.0025
2	0.76	0.0020
3	0.80	0.0023
4	0.75	0.0019

KẾT LUẬN

Các kết quả thử nghiệm đánh giá hiệu quả của thiết bị TTNL trên hai cầu dây văng Bến Cốc, Hà Tây và Ngòi Lăn, Yên Bái cho thấy thiết bị TTNL có thể làm giảm biên độ dao động trung bình khoảng 40-50%. Đây là kết quả rất khả quan trên con đường xây dựng công nghệ làm giảm các dao động có hại cho cầu dây văng nhằm nâng cao độ an toàn, tuổi thọ và giảm chi phí bảo dưỡng và sửa chữa.

KẾT LUẬN CHUNG

Dao động có hại xuất hiện trong rất nhiều lĩnh vực kỹ thuật ở các nước trên thế giới đó có Việt Nam, làm giảm chất lượng, độ bền và tuổi thọ của các thiết bị, máy móc. Ngoài ra các dao động có hại cũng ảnh hưởng rất nhiều tới sức khỏe và tinh thần của con người. Các dao động có hại này ngày càng nguy hiểm và cần được quan tâm thích đáng vì 3 lý do:

- Sự tăng lên về quy mô kết cấu, tốc độ máy móc và cường độ kích động ngoài;
- Sự cấp thiết về việc giảm giá thành các công trình lớn;
- Yêu cầu cao về an toàn cho các công trình quan trọng.

Như đã phân tích trong đề tài có rất nhiều lĩnh vực ở nước ta có khả năng ứng dụng để giảm dao động:

- Giao thông vận tải:
- Ô tô, tàu hỏa, tàu thủy,
- Các phương tiện vận chuyển dạng cáp treo, cầu giao thông
- Công nghiệp:
- Các máy cơ khí tốc độ cao,
- Các thiết bị công nghiệp nặng chịu va chạm,

- Hàng không.
- Quốc phòng:
- Xe tăng, tên lửa, pháo...
- Hệ thống radar,
- Xây dựng:
- Nhà cao tầng, Mái che sân vận động,
- Các kết cấu xây dựng trên vùng động đất,
- Các kết cấu ngoài khơi.

Nhiều bộ phận kết cấu có thể áp dụng thiết bị TTNL để giảm dao động có hại như:

- Lắp đặt trong kết cấu khung
- Lắp đặt tại móng công trình
- Lắp đặt vào dây văng của cầu dây văng
- Lắp đặt vào các tháp cầu, trụ cầu
- Lắp đặt vào kết cấu vòm của sân vận động
- Lắp đặt trên tầng cao của cao ốc.

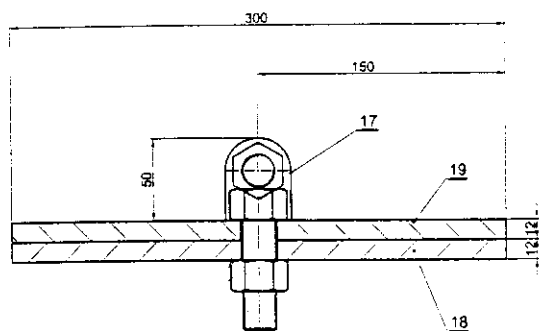
Ngoài ra, Việt Nam đang phát triển công nghiệp đóng tàu biển trọng tải lớn, tự động hóa trong ngành cơ khí, công nghiệp dầu khí, dàn khoan biển, cầu dây văng v.v.. Vì vậy, việc phát triển công nghệ giảm dao động có hại ở Việt Nam nói riêng cũng như ở trên thế giới nói chung là một hướng kỹ thuật có triển vọng ứng dụng và đem lại nhiều hiệu quả kinh tế và xã hội. Sau khi thiết kế, hoàn toàn có khả năng tiến hành chế tạo các thiết bị TTNL tại các nhà máy cơ khí ở Việt Nam.

Việc tính toán lựa chọn và thiết kế các thiết bị TTNL thuộc loại công nghệ “May đo”. Điều đó có nghĩa là các thiết bị này cần được tính toán và thiết kế riêng biệt cho từng loại cầu, từ loại dây cáp. Do đó nếu thuê của nước ngoài thì các chuyên gia của họ phải sang Việt Nam đến hiện trường khảo cứu sau đó thiết kế và thuê chế tạo riêng biệt phù hợp theo kích thước của dây cáp và cầu cũng như phải phù hợp về mặt động lực. Kết quả dẫn đến các chi phí rất tốn kém so với công nghệ do Việt Nam tự sản xuất. Do vậy chúng tôi kính đề nghị các cấp có thẩm quyền tạo các điều kiện thuận lợi cũng như đầu tư kinh phí và cán bộ để có thể phát triển công nghệ chống các dao động có hại bằng các thiết bị TTNL ở Việt Nam.

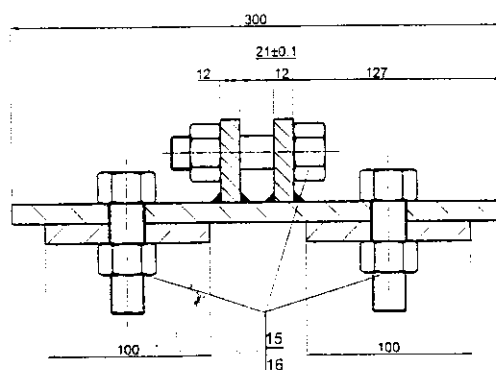
HỒ SƠ THIẾT KẾ KỸ THUẬT

THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG
THEO NGUYÊN LÝ CẢN NHỚT

ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC.05.30-CƠ QUAN CHỦ TRÌ: VIỆN CƠ HỌC - VIỆN KHCN VIỆT NAM

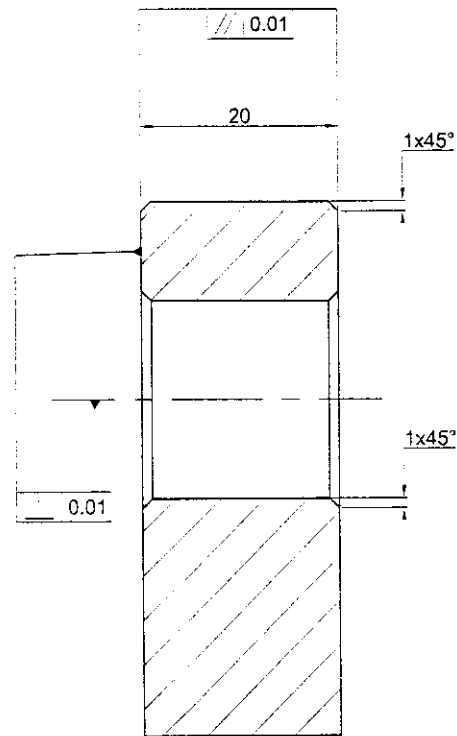
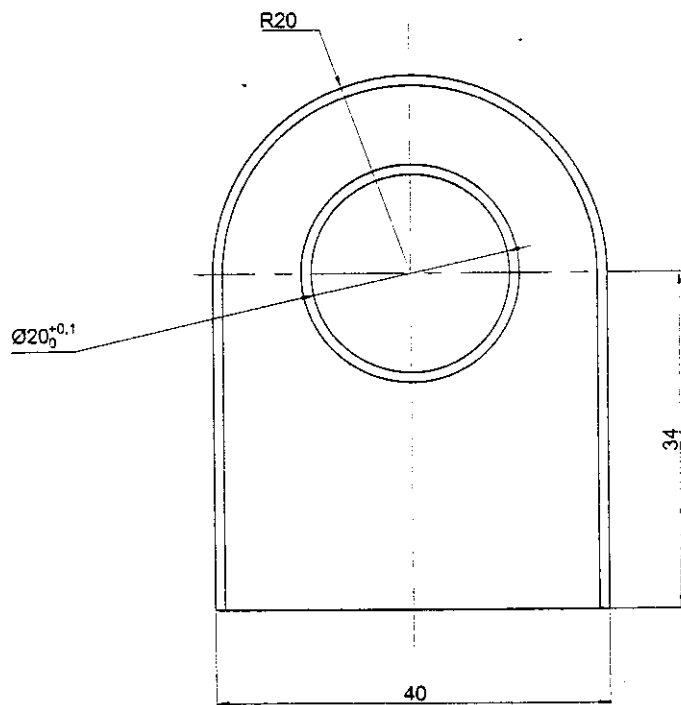


1. Khi lắp piston vào xi lanh không bị vênh kẹt.
2. Ma sát tĩnh rất thấp cho phép bộ TTNL hoạt động với các dịch chuyển rất nhỏ.
3. Doãng phốt có tuổi thọ cao và kín khít.
4. Ma Crom chống gỉ cho các chi tiết trước khi lắp ráp
5. Sơn màu ghi.

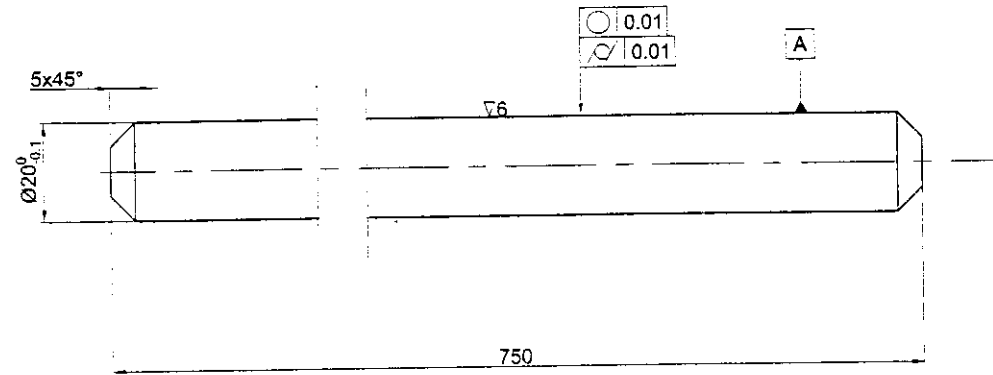


19	GDD-00-308	Tấm 3	01	4,5	4,5	Thép 45	Via Crôm
18	GDD-00-007	Tấm 2	02	1,5	3	Thép 45	Via Crôm
17	GDD-00-005	Tấm 1	02	0,8	1,2	Thép 45	Via Crôm
16		Đai ốc M20	03	0,15	0,45	Thép 45	TCN 1992-76
15		Bu lông M20	03	0,15	0,45	Thép 45	TCN 1992-76
14	GDD-03-000	Trục nối dây cáp	01	5	5	Thép 45	Via Crôm
13		Đai ốc M20	01	0,15	0,15	Thép 45	TCN 1992-76
12	GDD-00-005	Mỏ ống nối	01	0,25	0,25	Thép 45	Giáng chỉ sắt 1
11	GDD-02-000	Ống nối	01	3,5	3,5	Thép 45	Via Crôm
10		Bu lông M8-Đai ốc M8	04	0,1	0,4	Thép 45	TCN 1992-76
9		Đoăng chỉ 042-50-4,7	02	0,020	0,040	Polyim	Mus
8		Đoăng chốt 018-35-7	04	0,05	0,2	Polyim	Mus
7		Đoăng chỉ 0735-42-3,6	02	0,010	0,02	Polyim	Mus
6	GDD-00-004	Đầu piston	01	0,5	0,5	Thép 45	Via Crôm
5	GDD-01-000	Thân xy lanh	01	4	4	Thép 45	Via Crôm
4		Đầu chốt	70m	0,07	0,07	Đầu thép lyc	Dò nhô 400 csi
3	GDD-00-003	Nắp xy lanh	02	0,38	0,72	Thép 45	Via Crôm
2	GDD-00-002	Cần piston	01	1	1	Thép 45	Via Crôm
1	GDD-00-001	Đầu trục	01	0,28	0,28	Thép 45	Via Crôm

TT	Ký hiệu	Tên gọi	S.lg	Đ.vị T.bộ	Vật liệu	Giá trị
				Khối lượng (kg)		
NARIME - Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí			ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30			
Th.kế: Trần Anh Tuấn			THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG			
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng			BẢN CHUNG			
Tr. P. Phan Đăng Phong						
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng			GDD-00-000		Vật liệu	
TL Th. kế 10/04						
Phat hành 10/05			Tỷ lệ: 1/1 Khối: 26 S.lg: 01 T.b: 1/1			



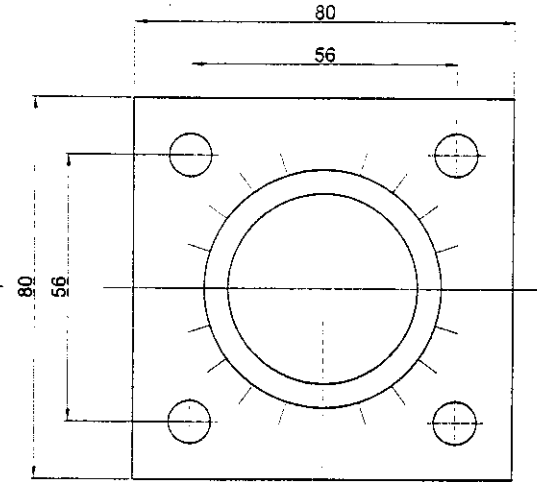
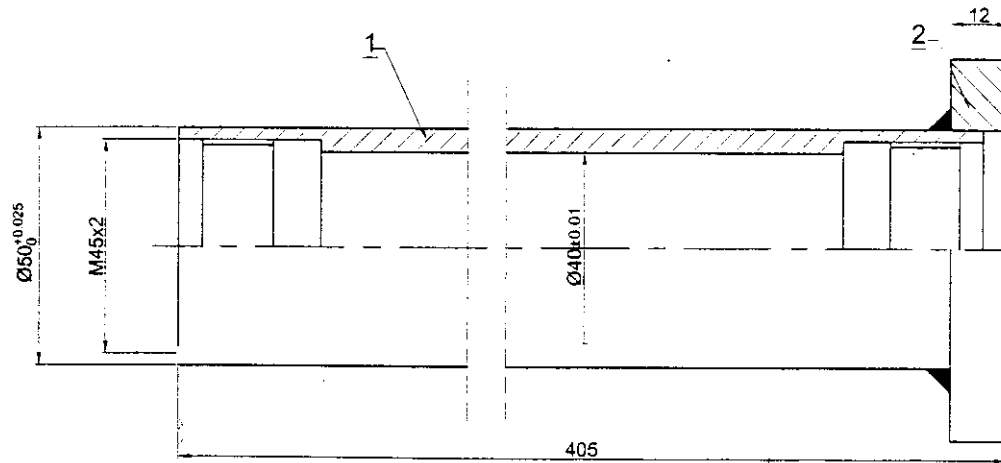
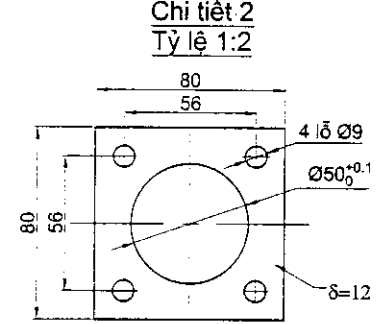
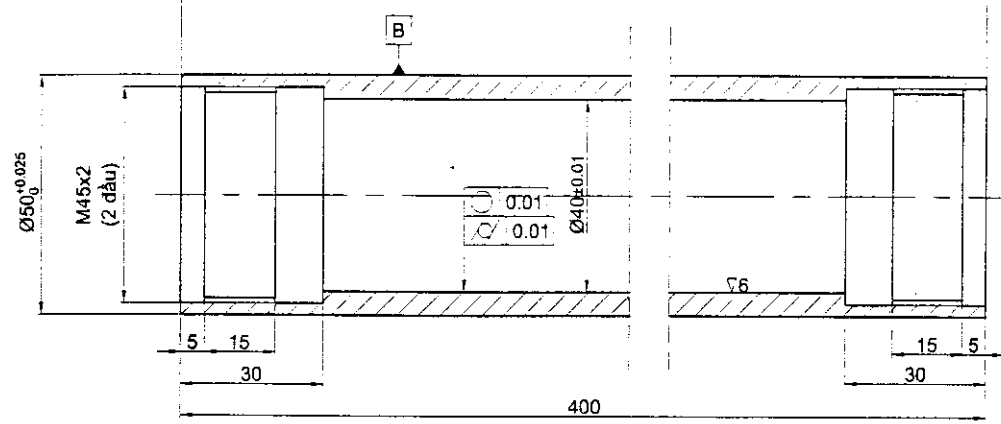
NARIME		Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th. Kế: Trần Anh Tuấn		K. Tra: Nguyễn Cao Thắng		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
Tr. P: Phan Đăng Phong		Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		ĐẦU NỐI	
TL Th. kế: 10/10/04		Phát hành: 20/11/04		GDD-00-001	Vật liệu: C-5
Tỷ lệ: 2/1		Kh/lg: 0,26		S/g: 01	Tờ: 1/1



Yêu cầu kỹ thuật:

- Mạ crôm bề mặt độ dày 30 μ m

NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		CẦN PISTON	
Tr. P. Phan Đăng Phong		GDD-02	
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		Vật liệu C45	
TL Th. kế	10/10/04	Tỷ lệ: 1/1	Kh/ig: 1 S/g: 01 Tờ: 1/1
Phát hành	20/11/04		

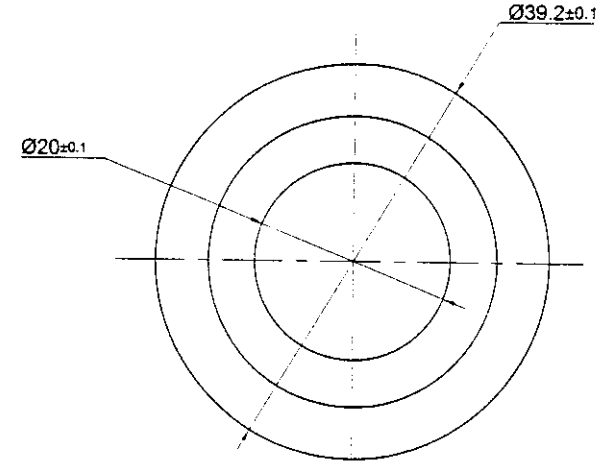
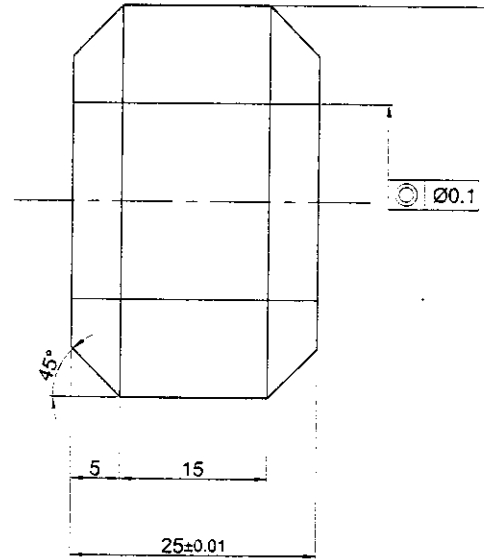


Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mặt crôm bề mặt độ dày 30μm

		Tổng khối lượng mỗi hàn		0.2	
2	GDD-01-002	Mặt bích	01	0.5	0.5 C45
1	GDD-01-001	Ống xy lanh	01	3	3 C45
TT	Ký hiệu	Tên gọi	S.Lg	Đ.vị	T.bố
	3			Khối lượng	Vật liệu

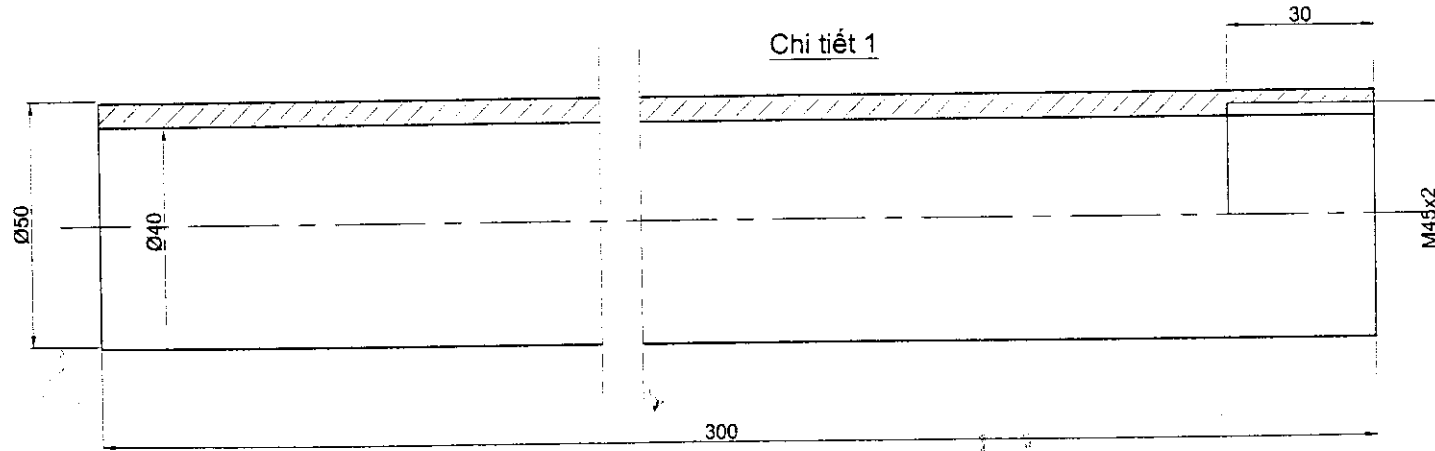
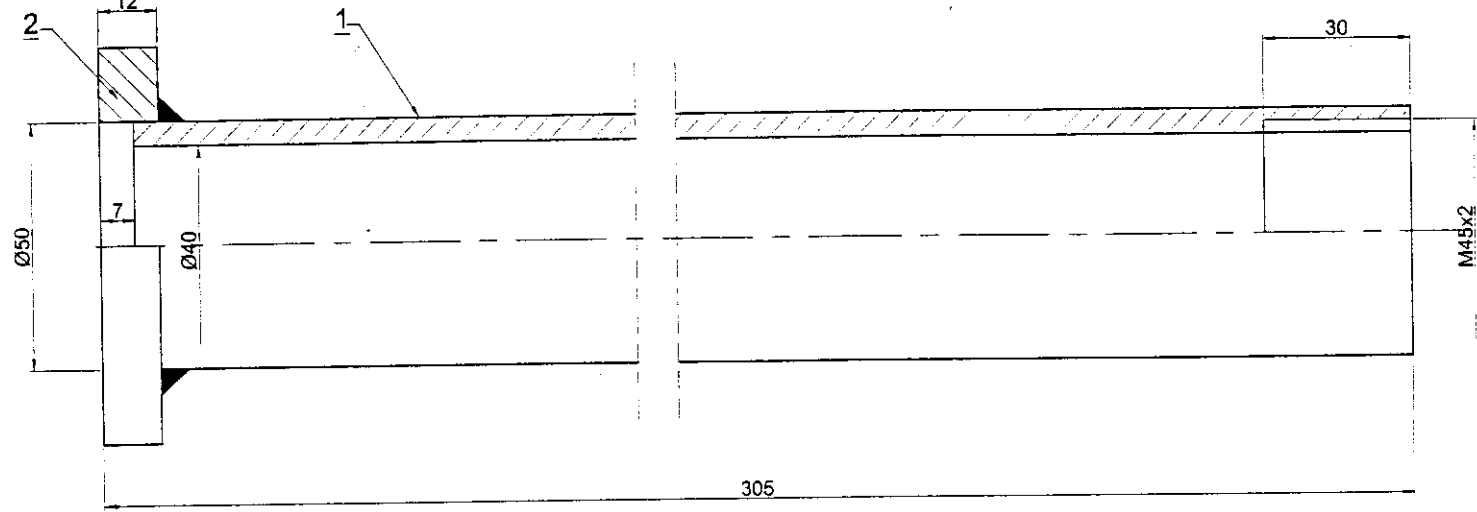
NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		THÂN XY LANH	
Tr. P. Phan Đăng Phong		GDD-01-000	
Duyệt: Nguyễn Chí Sang		Vật liệu C45	
TL Th. kế	10/10/04	KH	
Phát hành	20/11/04	Tỷ lệ: 1/1	Kh/lg: 4 S/lg: 01 Tờ: 1/1



Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mạ crôm bề mặt độ dày 30μm

NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		ĐẦU PISTON	
Tr. P. Phan Đăng Phong		Vật liệu	
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		GDD-00-004	
TL Th. kế 10/10/04		C45	
Phát hành 20/11/04		Tỷ lệ: 2/1, Kh/ig: 0.2 S/ig: 16 Tờ: 1/1	

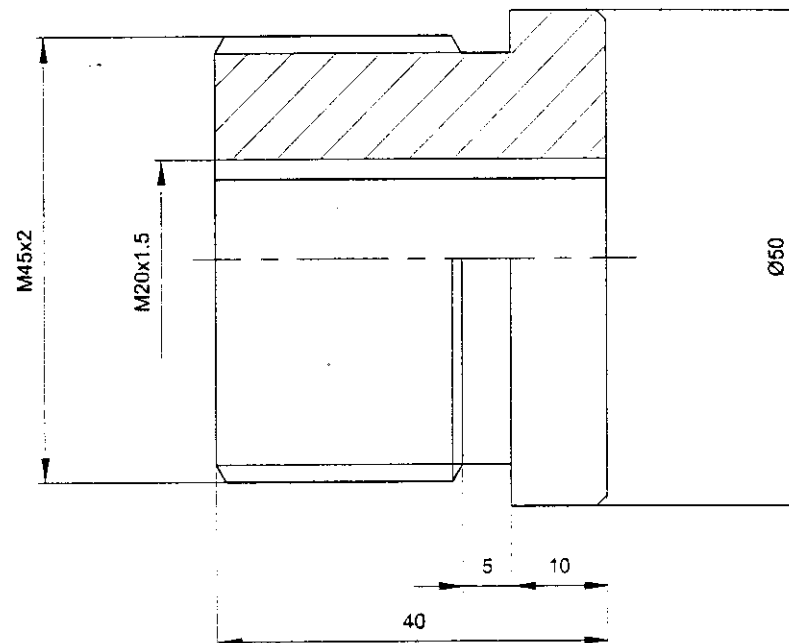


Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mạ crôm bề mặt độ dày 30µm

Tổng khối lượng mỗi hàn			0.2			
2	GDD-01-002	Mặt bích	01	0.5	0.5	C45
1	GDD-02-001	Ống xy lanh	01	2.8	2.8	C45
TT	Ký hiệu	Tên gọi	S.Lg	Đ.vi	T.bó	Vật liệu
				Khối lượng		

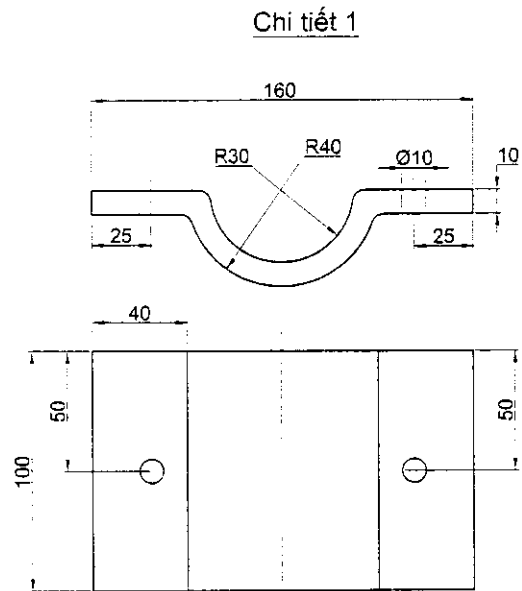
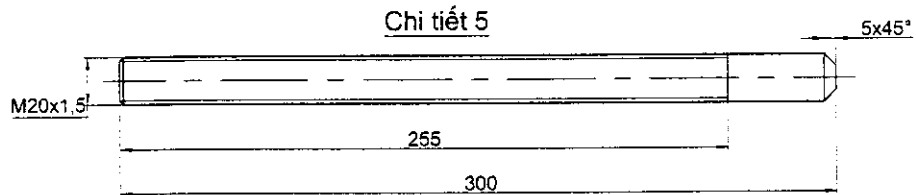
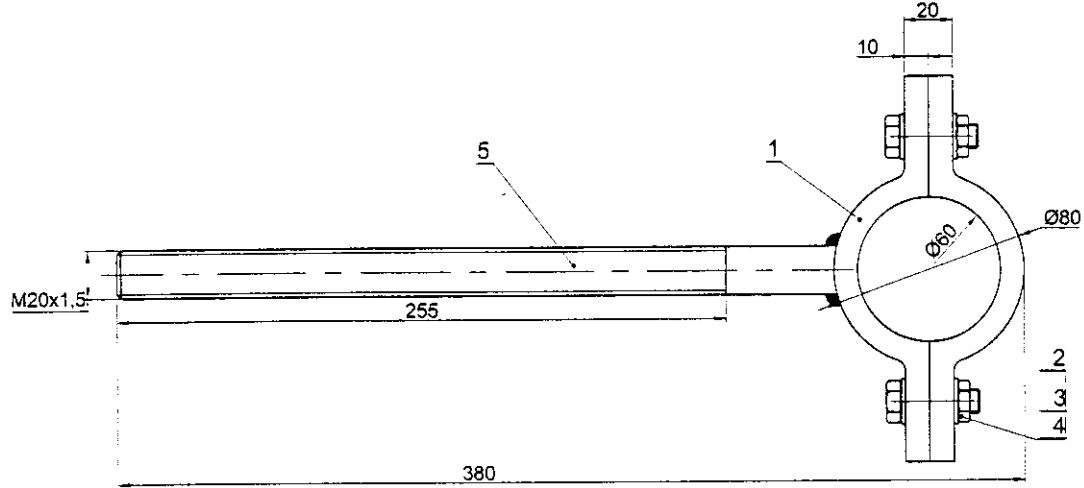
NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		ỐNG NỐI	
Tr. P. Phan Đăng Phong		GDD-02-000	
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		Vật liệu	
TL Th. kế 10/10/04		C45	
Phát hành 20/11/04		Tỷ lệ: 1/1 Kh/lg: 3.5 S/lg: 01 Tc: 1/1	



Yêu cầu kỹ thuật:

- Mạ crôm bề mặt độ dày 30µm

NARIME		Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th. kế: Trần Anh Tuấn		K. Tra: Nguyễn Cao Thắng		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
Tr. P. Phan Đăng Phong		Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		NẮP ỔNG NỐI	
TL Th. kế: 10/10/04		Phát hành: 20/11/04		GDD-00-005	
		Tỷ lệ: 2/1 Kh/lg: 0,27 S/lg: 01 Tờ: 1/1		Vật liệu: C45	

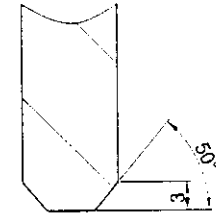
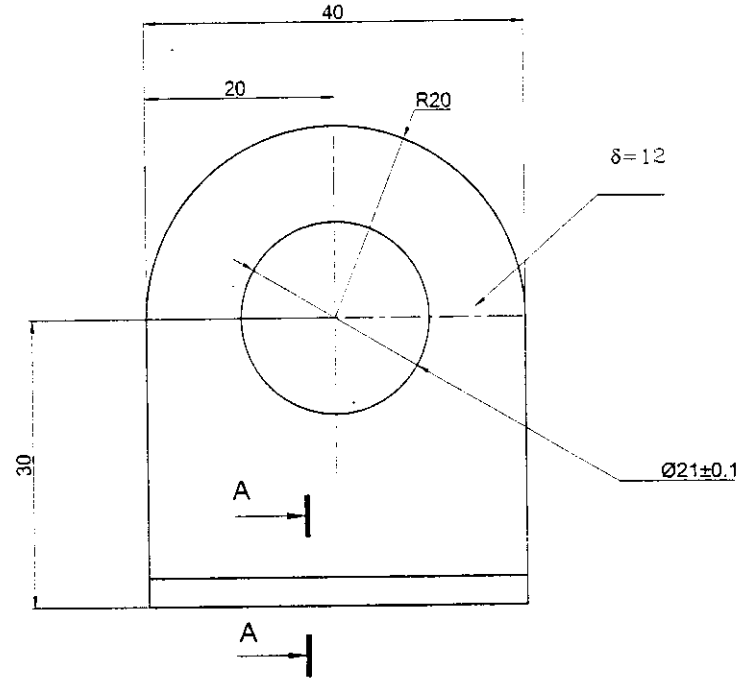


Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mạ bề mặt độ dày 30µm

		Tổng khối lượng mỗi hàn		0,2		
5	GDD-03-005	Trục nối vắn	01	2	2	C45
4	GDD-03-004	Đệm 8	02	0.1	0.2	C45
3	GDD-03-003	Đai ốc M8	02	0.1	0.2	C45
2	GDD-03-002	Bulông M8	02	0.1	0.2	C45
1	GDD-03-001	Tai hông	02	1	2	C45
TT	Ký hiệu	Tên gọi	S.Lg	D.vi	T.bơ	Vật liệu
				Khối lượng		

NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Trà: Nguyễn Cao Thăng		TRỤC NỐI VÀO DÂY CÁP	
Tr. P. Phan Đăng Phong		GDD-03-000	
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng:		Vật liệu	
TL Th. kế 10/10/04		C45	
Phát hành 20/11/04		Tỷ lệ: 1/1 Kh/ig: 5 S/ig: 01 T/à: 1/1	

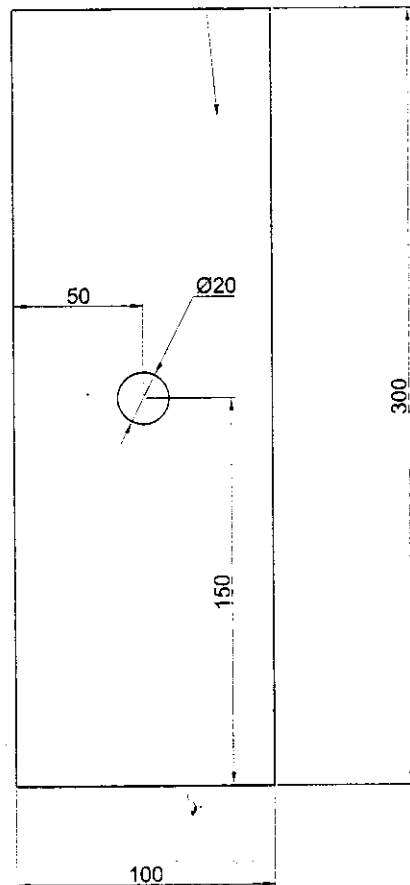


A-A

Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mặt bề mặt độ dày 30µm

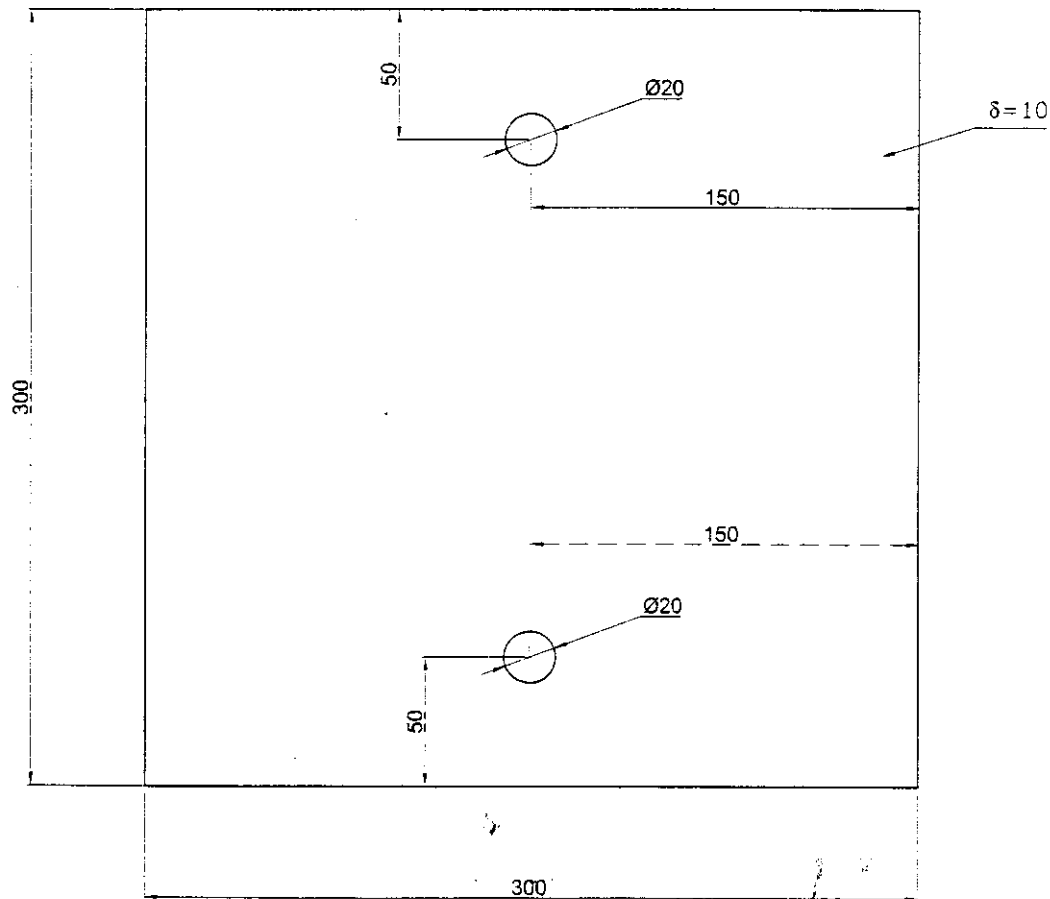
NARIME		Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
Tr. P. Phan Đăng Phong		Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		Tấm 1	
TL Th. kế: 10/10/04		Phát hành: 20/11/04		GDD-00-006	
				Vật liệu: C45	
				Tỷ lệ: 1/1 Kh/lg: 0,27 S/lg: 02 Tg: 1/1	



Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mặt bề mặt độ dày 30µm

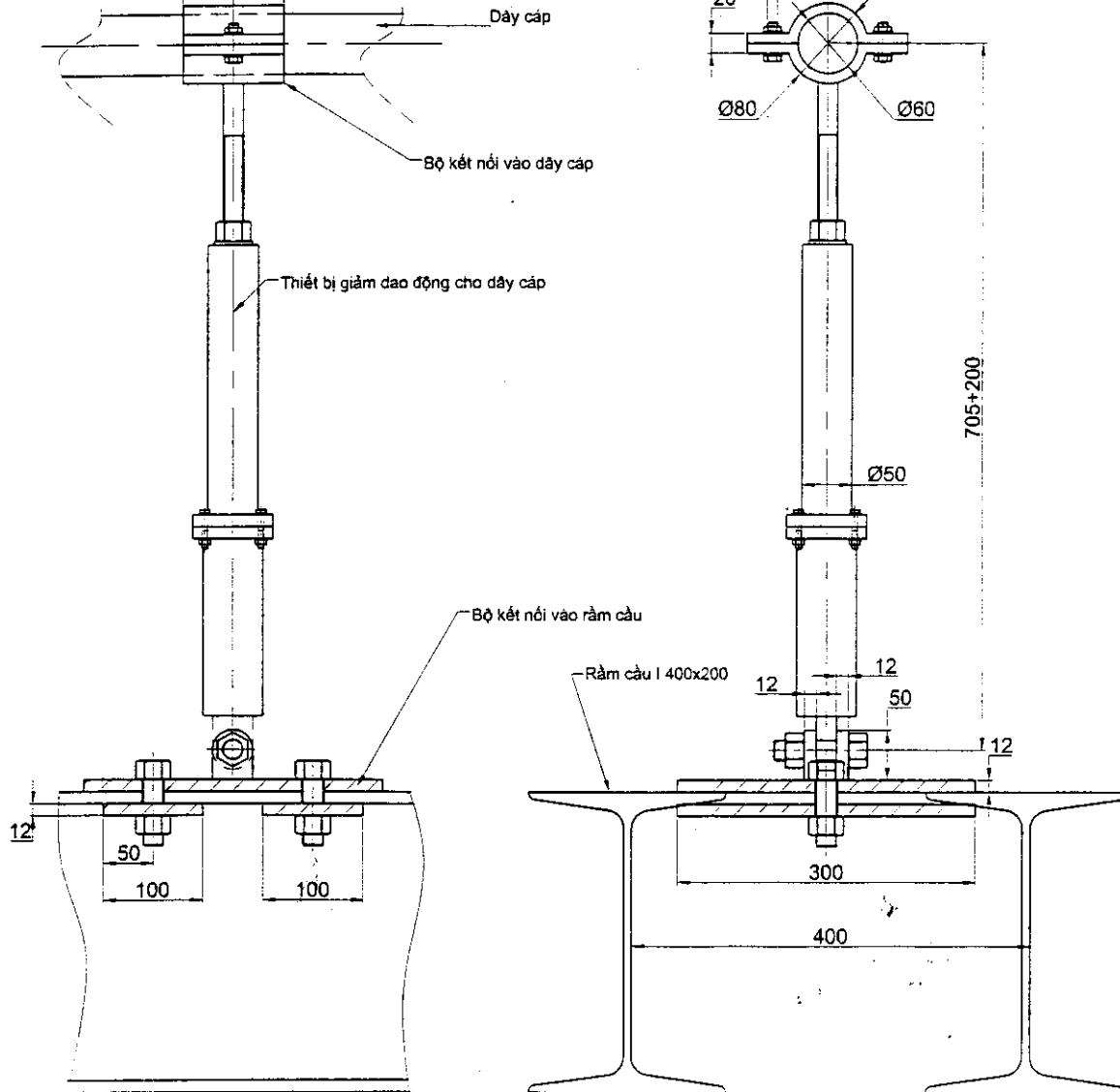
NARIME		Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
Tr. P: Phan Đăng Phong		Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		Tầm 2	
TL Th. kế		10/10/04		GDD-00-007	
Phát hành		20/11/04		C45	
Tỷ lệ: 1/2		Kh/lo: 1.5		S/lo: 02	
Tờ: 1/1					



Yêu cầu kỹ thuật:

1. Mặt bề mặt độ dày 30 μ m

NARIME Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG	
K.Tra: Nguyễn Cao Thắng		Tấm 3	
Tr. P. Phan Đăng Phong		GDD-00-008	
Duyệt: Nguyễn Chí Sáng		Vật liệu	
TL Th. kế	10/10/04	C45	



Yêu cầu kỹ thuật:

Khi lắp bộ giảm dao động cho dây văng lên cầu phải đảm bảo:

1. Độ không vuông góc của trục của bộ giảm dao động cho dây văng và dây văng không lớn hơn 0.1
2. Xiết chặt các bu lông ở các mối nối của thiết bị, mối nối của thiết bị và cầu, mối nối của thiết bị và dây văng.

NARIME		Bộ Công nghiệp Viện Nghiên cứu Cơ khí		ĐỀ TÀI NHÀ NƯỚC KC05.30	
Th.kế: Trần Anh Tuấn		THIẾT BỊ GIẢM DAO ĐỘNG			
K.Trà: Nguyễn Cao Thắng					
Tr. P: Phan Đăng Phong		PHƯƠNG ÁN LẮP			
Duyệt! Nguyễn Chí Sáng		GDD-LD		Vật liệu	
TL Th. kế: 10/10/04				C45	
Phát hành: 20/11/04		Tỷ lệ: 1/5		Kh/lg:	S/lg: 01
				Tờ:	1/1

Mục lục

1.	Lập quy trình công nghệ chế tạo bộ tiêu tán năng lượng	3
b.	Phân tích và lựa chọn các mặt công nghệ, vật liệu, giá cả, hiệu quả, tuổi thọ, cách lắp đặt... để quyết định phương án chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng dùng nguyên lý cản nhót	3
c	Lập quy trình công nghệ chế tạo	4

Hình vẽ

1	Sơ đồ gia công mặt đầu trục trên máy phay ngang	7
2	Sơ đồ gia công đồng thời mặt đầu và lỗ tâm trụ trên máy chuyên dùng	8
3	Chi tiết ốp vào dây cáp	9
4	Khuôn dập	10
5	Chuẩn bị mép các chi tiết hàn	11

Bảng

1	Yêu cầu độ chính xác chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng	3
2	Dãy kích thước thang tiêu chuẩn dùng để chọn khi chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng	5
3	Tiêu chuẩn vát mép, lắp ghép và hàn	11

Qui trình công nghệ chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng (TTNL)

1. Các yêu cầu chế tạo của thiết bị TTNL phục vụ các công trình kỹ thuật

1.1 Yêu cầu vật liệu và kỹ thuật của thiết bị tiêu tán năng lượng

Vật liệu dùng để chế tạo bộ tiêu tán năng lượng có độ bền tương đối cao:

- Khi áp suất đến 100kG/cm² thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b = 15 \div 60 \text{ kG/mm}^2$$

- Khi áp suất đến 100 - 200kG/cm² thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b = 30 \div 90 \text{ kG/mm}^2$$

- Khi áp suất > 200kG/cm² thì vật liệu có độ bền

$$\sigma_b > 90 \text{ kG/mm}^2$$

Yêu cầu về độ chính xác khi chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng được cho trong Bảng 1.

Bảng 1: Yêu cầu độ chính xác chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng

Vật liệu và yêu cầu gia công	Xi lanh	Pittông	Cần pittông	Nắp	Đồ gá lắp ráp, phụ kiện
Độ nhẵn bề mặt	Không thấp hơn $\nabla 8$				
Độ không thẳng của chi tiết trên 500 mm	Không lớn hơn 0.03	-	Không lớn hơn 0.03	-	Không lớn hơn 0.03
Độ đảo mặt mút	Không lớn hơn 0.05	Không lớn hơn 0.05	-	Không lớn hơn 0.05	Không lớn hơn 0.05
Độ đảo bề mặt so với tâm xy lanh	Không quá dung sai của đường kính tương ứng				
Độ chính xác của ren	2	3	2-4	2	2
Độ không vuông góc trên chiều dài 100mm	Không lớn hơn 0.02	-	Không lớn hơn 0.02		Không lớn hơn 0.02

1.2. Yêu cầu của cơ cấu gá đặt lên công trình

Cơ cấu gá đặt dùng để kết nối thiết bị tiêu tán năng lượng lên công trình.

Cơ cấu gá đặt có các yêu cầu cơ bản:

- Lực kẹp phải đủ để thiết bị không bị xô dịch dưới tác dụng của tải trọng nhưng không quá lớn so với các giá trị cần thiết để tránh sinh ra biến dạng.
- Không làm hỏng bề mặt do lực kẹp tác dụng vào.
- Thao tác nhanh, đỡ tốn sức.
- Kết cấu gọn, nhỏ, an toàn, thành một khối để dễ bảo quản, sửa chữa.
- Cố gắng làm cho phương, chiều của lực kẹp vuông góc và hướng vào mặt tiếp xúc.

2. Qui trình gia công chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng

2.1. Yêu cầu về gia công

Gia công chi tiết phải chính xác và theo đúng với các kích thước quy định để có thể sẵn sàng lắp đặt các chi tiết thay thế với các bản vẽ thiết kế. Các chi tiết tương tự nhau và các chi tiết, bộ phận dự phòng phải có khả năng lắp lẫn.

Toàn bộ công tác gia công phải được thực hiện nhằm giữ cho các bề mặt liền kề khớp với nhau. Các bề mặt chưa hoàn thiện phải được gia công đúng theo các đường nét và kích thước thể hiện trên bản vẽ, và phải được làm nhẵn bề mặt không còn các vết gồ ghề, lỗi lõm.

Hoàn thiện các bề mặt của tất cả các chi tiết và bộ phận phải phù hợp với các yêu cầu phục vụ tương ứng, và phải theo đúng với các bản vẽ được phê duyệt. Các bề mặt được gia công hoàn thiện phải được thể hiện trong các bản vẽ chế tạo bằng các biểu tượng tiêu chuẩn hoá tương ứng.

2.2. Các nguyên công chính

Nguyên công 1: Chuẩn bị phôi

Các chi tiết dạng trục là loại chi tiết xuất hiện chủ yếu trong bộ tiêu tán năng lượng bao gồm xy lanh, trục piston và các chi tiết lắp ghép bộ tiêu tán năng lượng lên cầu. Chúng có bề mặt cơ bản cần gia công là mặt tròn ngoài. Mặt này thường dùng làm mặt lắp ghép. Tùy theo kết cấu mà có thể chia các chi tiết dạng trục ra các loại sau:

- Trục trơn: trục piston.

Trên suốt chiều dài của trục chỉ có một kích thước đường kính d . Khi $L/d < 4$: trục trơn ngắn; $L/d = 4 \div 10$: trục trơn thường; $L/d > 10$: trục trơn dài.

- Trục rỗng: loại trục rỗng được dùng làm trục piston trong một số trường hợp.

a. Điều kiện kỹ thuật

Khi chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng có dạng trục cần đảm bảo các điều kiện kỹ thuật sau:

- Kích thước đường kính các cổ lắp ghép yêu cầu đạt cấp chính xác 7-10, trong một số trường hợp cần đạt cấp 5.
- Độ chính xác về hình dáng hình học như độ côn, độ ô van của các trục nằm trong giới hạn 0,25-0,5 dung sai đường kính cổ trục.
- Độ nhám của các cổ trục lắp ghép đạt $R_a=1,25-1,16$, của các mặt đầu $R_z=40-20$ và bề mặt không lắp ghép $R_z=80-40$.
- Bề mặt trục piston được tôi cứng 30HRC và sau đó được mạ crôm đạt độ dày 30-50 μ m. Về tính chất cơ lý của bề mặt trục như độ cứng bề mặt, độ thấm tôi tùy từng trường hợp cụ thể mà đặt điều kiện kỹ thuật.

Ngoài ra đối với một số trục làm việc với tốc độ cao còn có yêu cầu cân bằng tĩnh và cân bằng động.

b. Vật liệu và phôi dùng để chế tạo các chi tiết dạng trục của bộ TTNL

Vật liệu để chế tạo các chi tiết dạng trục của bộ tiêu tán năng lượng bao gồm thép cacbon như thép 35, 40, 45; thép hợp kim như thép crôm, crôm-niken, 40X; 40Γ; 50Γ v.v...

Việc chọn phôi để chế tạo trục phụ thuộc vào hình dáng, kết cấu và sản lượng của loại trục đó. Đối với chi tiết dạng trục của bộ tiêu tán năng lượng thì tốt nhất là dùng phôi thanh. Xem Bảng 2.

Bảng 2. Dãy kích thước thang tiêu chuẩn dùng để chọn khi chế tạo các chi tiết của bộ tiêu tán năng lượng, [6]

Giá trị kích thước tiêu chuẩn					
300	500	800	1000	1600	3000

c. Tính công nghệ trong kết cấu của chi tiết dạng trục trong bộ TTNL

Khi thiết kế chi tiết dạng trục cần phải chú ý đến các vấn đề sau:

- Các bề mặt trên trục có khả năng gia công được bằng các dao thông thường.
- Giảm đường kính trục đến mức có thể mà vẫn đảm bảo mọi chức năng làm việc của nó.
- Gia công trục trên các máy tiện, máy CNC.

Nguyên công 2: Khoả mặt đầu đạt kích thước dài, khoan lấy dấu tâm, tiện thô và tinh Khả năng công nghệ của phương pháp tiện trong chế tạo bộ tiêu tán năng lượng

Tiện có thể tạo được nhiều hình dạng bề mặt khác nhau như các mặt trụ của xy lanh, pittông, các mặt đầu, ren trong và ngoài.

a. Chuẩn định vị khi gia công chi tiết trục:

Đối với các chi tiết dạng trục yêu cầu về độ đồng tâm giữa các cổ trục là rất quan trọng. Để đảm bảo yêu cầu này, khi gia công trục cần phải dùng chuẩn tinh thống nhất.

Chuẩn tinh thống nhất khi gia công các chi tiết dạng trục là hai lỗ tâm côn ở hai đầu của trục. Dùng hai lỗ tâm côn làm chuẩn, có thể hoàn thành việc gia công thô và tinh hầu hết các bề mặt của trục.

b. Thứ tự các nguyên công và biện pháp công nghệ chế tạo chi tiết dạng trục trục của bộ tiêu tán năng lượng

Thứ tự gia công các bề mặt

Việc lập trình tự gia công các bề mặt và chọn thiết bị cho các chi tiết dạng trục phụ thuộc vào các yếu tố cơ bản như hình dáng, kích thước, độ cứng vững, yêu cầu độ chính xác đạt được cũng như sản lượng hàng năm. Khi chế tạo các chi tiết dạng trục tron có thể chia ra các giai đoạn chính sau:

b.1. Gia công chuẩn bị.

- Cắt đứt phôi theo kích thước dài hoặc bội số của chiều dài trên máy nhiều trục hoặc máy cắt đứt tự động chuyên dùng, máy cưa, cũng có thể cắt đứt trên máy tiện
- Khoả hai mặt đầu và khoan hai lỗ tâm. Nếu trục dài phải dùng luynet thì cần phải có nguyên công gia công cổ đỡ.

b.2. Gia công trước nhiệt luyện

- Tiện thô và bán tinh các mặt trụ trên máy tiện (thường dùng hai lần gá để gia công hai đầu).
- Tiện tinh các mặt trụ. Nếu là trục rỗng thì sau khi tiện thô và bán tinh phải khoan và doa lỗ rồi mới gia công tinh mặt ngoài.
- Mài thô một số cổ trục để đỡ chi tiết khi phay.
- Nắn thẳng trục có $\Phi < 100$ và $L/d > 10$.
- Gia công các lỗ vuông góc hoặc làm thành một góc đường tâm trục, gia công các mặt có ren, mặt không quan trọng.

b.3. Nhiệt luyện

b.4. Nắn thẳng sau khi nhiệt luyện để khắc phục biến dạng

b.5. Gia công tinh sau nhiệt luyện

- Mài thô và tinh các cổ trục.
- Mài thô và tinh các mặt
- Đánh bóng
- Tổng kiểm tra.

c. Biện pháp thực hiện các nguyên công chính

c.1. Khoả mặt đầu và khoan lỗ tâm

Khi chế tạo các trục có chiều dài $L > 120\text{mm}$ từ phôi thanh thì hai lỗ tâm được dùng làm chuẩn định vị. Sau khi cắt đứt phôi thì khoan mặt đầu và khoan lỗ tâm phải được thực hiện tiếp theo ngay. Công việc này được thực hiện theo các phương pháp sau:

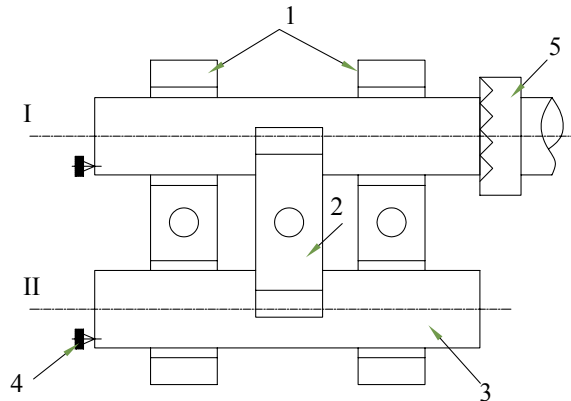
Trong sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ thường phay hai mặt đầu của trục, sau đó lấy dấu rồi khoan lỗ tâm theo dấu. Cũng có thể gá trục lên mâm cặp, tiện mặt đầu, khoan tâm, sau đó đổi đầu để gia công phía còn lại.

Trong sản xuất loạt lớn và hàng khối, việc khoan mặt đầu và khoan lỗ tâm được thực hiện

theo một trong ba cách như sau:

- + Phay mặt đầu trên máy phay có tang quay, sau đó khoan lỗ tâm trên máy khoan hai phía.
- + Phay mặt đầu trên máy phay nằm ngang và gia công lỗ tâm trên máy chuyên dùng. Hình 1 là sơ đồ gia công mặt đầu của trục trên máy phay nằm ngang trong dạng sản xuất hàng loạt. Sau mỗi lần chuyển dao tại vị trí II lấy ra được một trục đã gia công xong cả hai đầu, trục ở vị trí I được chuyển sang vị trí II để cắt đầu thứ hai, còn trong vị trí I phôi mới được đặt vào để cắt đầu thứ nhất. (Xem hình 1)

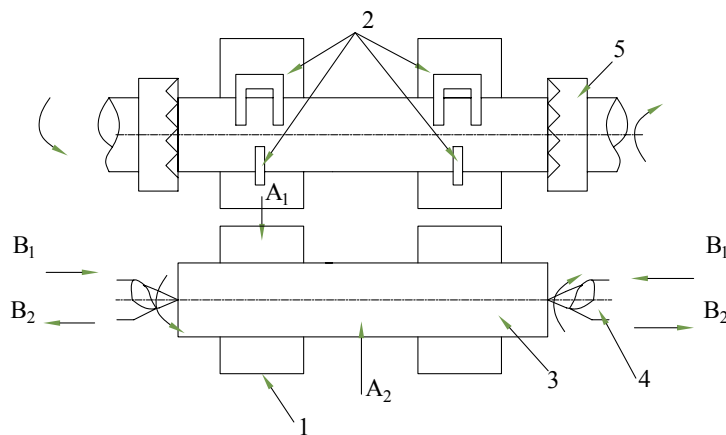
Theo hai cách trên đây, việc khoả mặt, khoan tâm được chia thành hai nguyên công.



Hình 1. Sơ đồ gia công mặt đầu trục trên máy phay ngang

1- Khối V định vị; 2- Khối V kẹp chặt
3- Chi tiết gia công; 4- Chốt tỳ; 5- Dao phay.

- + Cách thứ ba là trên một nguyên công đồng thời phay mặt đầu và khoan lỗ tâm ở cả hai phía trên máy chuyên dùng. Cách này dùng trong dạng sản xuất hàng loạt lớn và hàng khối. Sơ đồ gia công theo cách này được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ gia công đồng thời mặt đầu và lỗ tâm trục trên máy chuyên dùng

i. Xe dao; 2- Các khối V định vị và kẹp chặt
3- Chi tiết gia công; 4- Mũi khoan tâm; 5- Dao phay

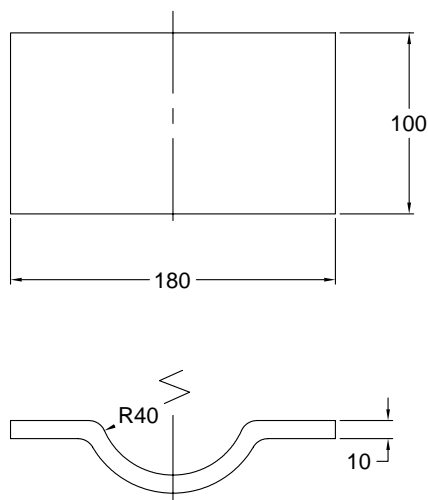
Chi tiết gia công được định vị và kẹp bằng các khối V. Để phay xong cả hai mặt đầu bằng hai dao, bàn máy mang vật dịch chuyển A_1 rồi dừng lại ở vị trí khoan tâm. Lúc này các trục chính mang mũi khoan tâm thực hiện chuyển động quay và B_1 để dùng khoan tâm ở cả hai đầu. Sau khi làm xong, trục chính thực hiện dịch ra B_2 bàn máy thực hiện chuyển động A_2 để về vị trí tháo chi tiết gá phôi mới. Máy dạng này là máy chuyên dùng, bán tự động.

c.2. Tiện thô và tiện tinh mặt trụ

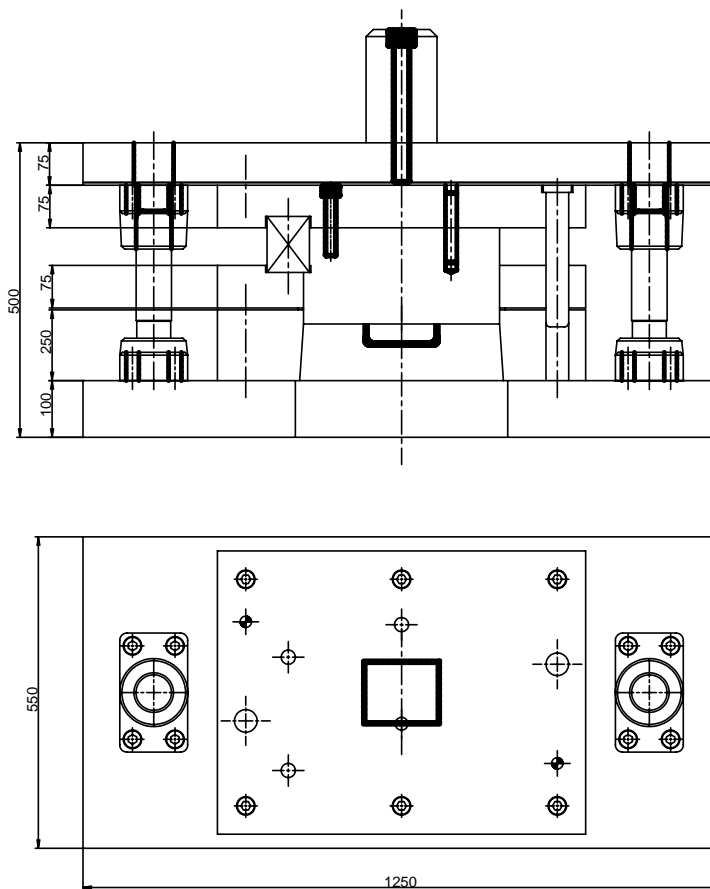
Công việc tiện thô và tiện tinh được thực hiện trên máy tiện vạn năng. Việc gia công lỗ

tâm trên các trục được làm theo dấu. Nếu thực hiện trên máy tiện thì trục được kẹp một đầu vào mâm cặp.

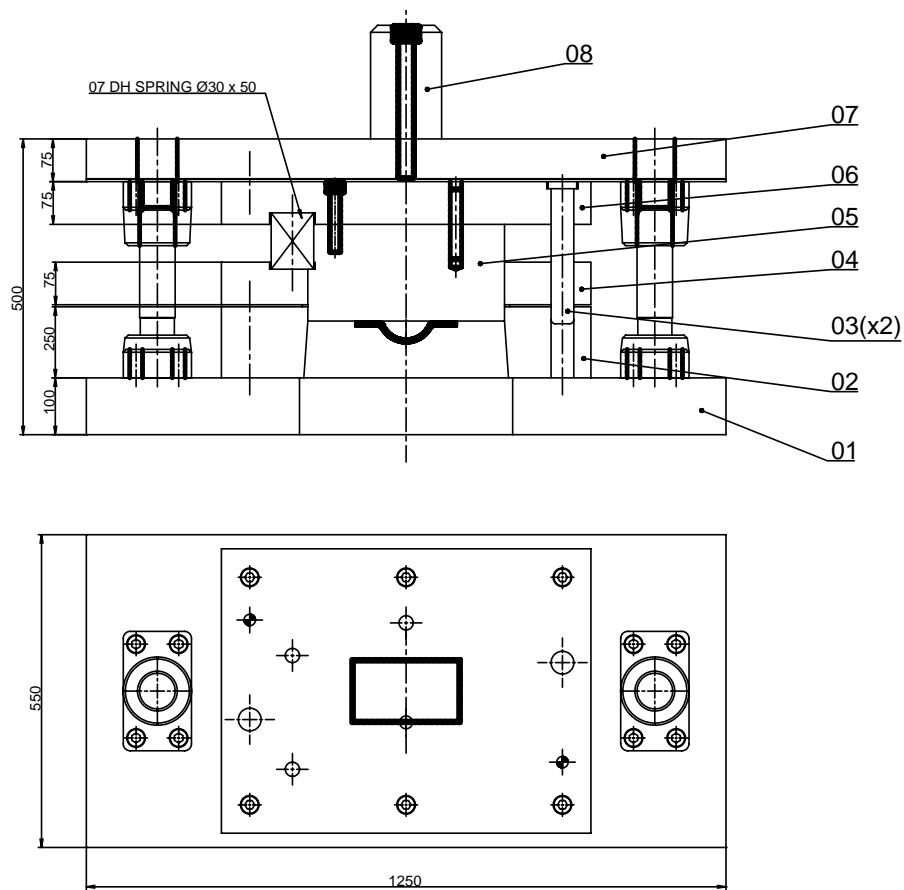
Nguyên Công 3: Chế tạo chi tiết kết nối vào dây cáp bằng phương pháp dập nóng ($t=1500^{\circ}\text{C}$) (Hình 3)



Hình 3: Chi tiết ốp vào dây cáp



a) Nguyên công dập thô



b) Nguyên công dập tinh

Hình 4: Khuôn dập tai hồng của bộ TTNL

Sau khi dập ta chuyển các chi tiết trên sang nguyên công khoan, phay, làm sạch bề mặt và nhuộm màu đen.

Nguyên công 4: Khoan các lỗ lắp ghép bulông trên các mặt của chi tiết tai hồng, mặt bích, Hình 4.

- Chọn mũi khoan, tarô: Ø22, Ø11, M10 để khoan các lỗ lắp ghép bulông trên bề mặt các chi tiết kết nối.
- Máy khoan: Chọn loại máy khoan đứng.

Nguyên công 5: Phay, mài tinh các mặt phẳng của các chi tiết kết nối bộ TTNL vào dây cáp và cầu

Nguyên công 6: Hàn các mối hàn theo bản vẽ chế tạo tuân thủ quy trình hàn

a. Các đặc tính kỹ thuật cơ bản của mối hàn phải phù hợp với vật liệu chủ thể như đã được quy định trong các tiêu chuẩn tương ứng. Tất cả các mối hàn nối thép tấm theo chiều ứng suất chính phải được hàn đơn hoặc kép. Các tấm kim loại gần nhau chịu ứng suất cao phải có chiều dày chênh nhau tối đa 3mm. Nếu sự chênh lệch lớn hơn thì tấm kim loại dày hơn phải được vát mép với độ nghiêng tối đa là 1:4. Các mối hàn cơ bản phải được chế tạo từ phẳng theo quy định trong quy trình hàn đã được phê duyệt. Bên cạnh đó, tất cả các mối hàn tiếp xúc với chất lỏng nhớt phải được mài nhẵn. Trước khi hàn, phải loại bỏ các mối hàn dính có khuyết tật hoặc rạn nứt. Đối với các mối hàn nối đầu kép, phần chân các mối hàn phải được loại bỏ hoàn toàn bằng cách mài hoặc đo lại trước khi tiếp tục hàn trên các cạnh khác để tránh đóng cặn.

b. Xử lý vật liệu thép trước khi hàn

b.1. Chuẩn bị bề mặt làm sạch và sơn lớp đầu tiên

Chuẩn bị mép các chi tiết hàn

- Làm sạch gỉ, dầu mỡ và các chất bẩn khác trên mép hàn và hai bên.
- Vát mép bằng máy (máy bào tôn hoặc bằng máy cắt khí không để lại vết cắt khắc).

Làm sạch mép hàn:

- Đối với mối hàn giáp mối: (Hình 5.a)

Chiều rộng làm sạch mép hàn L : $L = b/2 + (5 \div 10 \text{ mm})$

B : Chiều rộng mối hàn

- Đối với mối hàn chữ - T (Hình 5.b)

$L_1 = K + (5 \div 10 \text{ mm})$

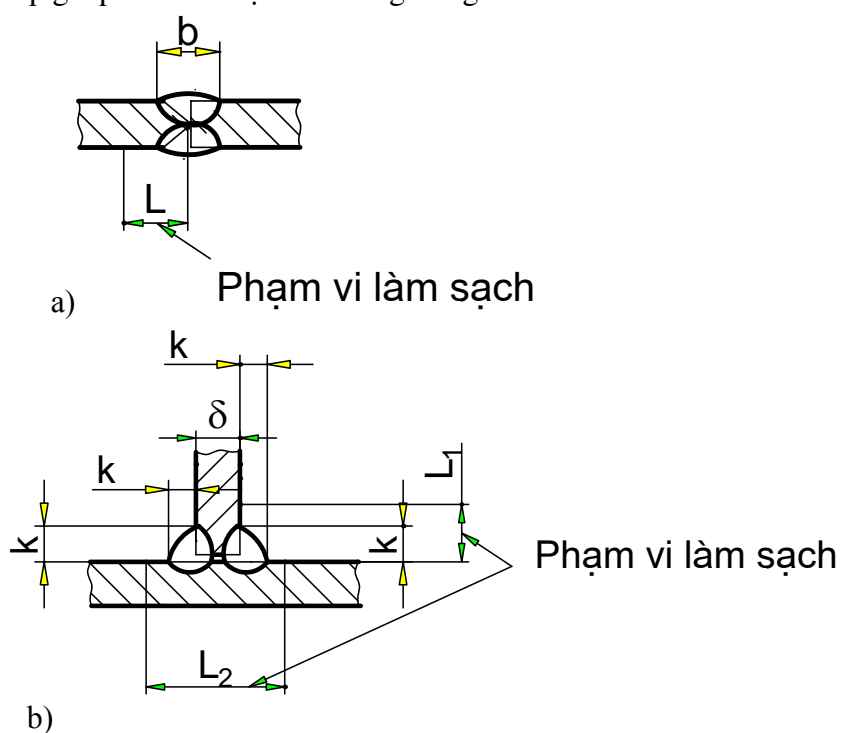
$L_2 = \delta + 2K + (5 \div 10 \text{ mm})$

$L_3 = \delta + 2h + (5 \div 10 \text{ mm})$

b -chiều rộng mối hàn

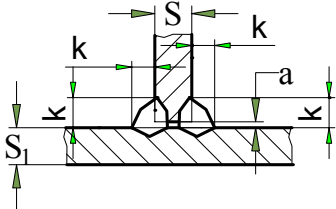
k - cạnh mối hàn góc

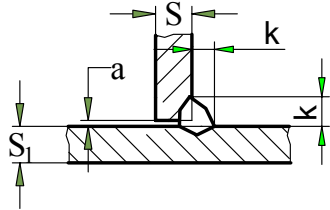
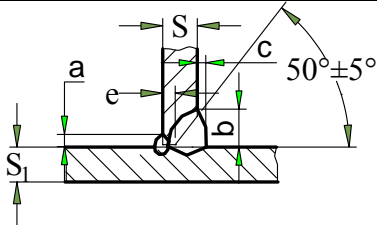
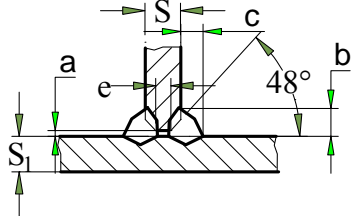
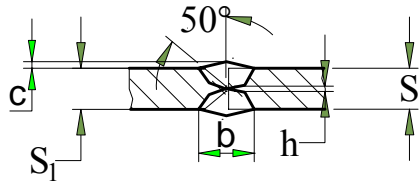
Tiêu chuẩn vát mép, lắp ghép và hàn được cho trong Bảng 3.

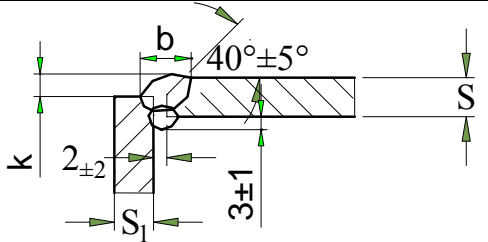


Hình 5: Chuẩn bị mép các chi tiết hàn

Bảng 3. Tiêu chuẩn vát mép, lắp ghép và hàn, [4]

Kiểu môi hàn	KẾT CẤU MÔI HÀN	S	S ₁ Không nhỏ hơn	a	k
N ^o 1		2-2,5	0,7S	0 ⁺¹	3 ⁺²
		3-4,5		0 ⁺²	4 ⁺² ₋₁
		5-6		0 ⁺³	5 ⁺² ₋₁
		7-9			6 ⁺² ₋₁
		10-15			7 ^{±2}
		16-21			8 ^{±2}
		22-30			
N ^o 2		2-2,5	0,7S	0 ⁺¹	3 ⁺²
		3-4,5		0 ⁺²	

		5-6			0^{+3}	4^{+2}_{-1} 5^{+2}_{-1} 6^{+2}_{-1} $7^{\pm 2}$ $8^{\pm 2}$
		7-9				
		10-15				
		16-21				
		22-30				
N° 3		S	S_1	a=e	b Không lớn hơn	c
		4 6 8 10 12 14 16	0,7S	0^{+1} 2^{+1}_{-2}	10 14 16 20 22 26 28	3^{+1}_{-3} 4^{+3}_{-3}
N° 4		S	S_1	e	b Không lớn hơn	c^{+3}_{-3}
		12- 16 18- 22 24- 28 30- 34 36- 40 42- 46	0,7S	4-5 6-7 8-9 10- 11 12- 13 14- 15	16 20 22 26 28 30 8	3 5 6 6 8
N° 5		$S=S_1$		h	b Không lớn hơn	c
		12-14		5-6	18	$0,5^{+2}_{-0,5}$
		16-18		7-8	20	
		20-22		9-10	22	$0,5^{+3}_{-0,5}$
		24-26		11-12	26	
		28-30		13-14	28	
N° 6		S	S_1	b	k	

	8	$\geq 0,7S$	13^{+3}	4
	9			
	10		15^{+3}	
	12			5
	14		20^{+3}_{-3}	
	16			
	18			
	20		25^{+4}_{-4}	6

Nguyên Công 7: Mạ Crôm các chi tiết cần piston, đầu piston, mạ kẽm các chi tiết kết nối với rầm cầu, nhuộm chi tiết tai hồng kết nối với dây cáp

Nguyên Công 8: Sơn màu bộ tiêu tán năng lượng bằng công nghệ sơn ô tô.

- Làm sạch bề mặt bộ tiêu tán năng lượng bằng giấy ráp tinh.
- Dùng băng dính để cuộn che phần trục piston
- Sơn lớp thứ nhất là lớp sơn lót
- Sơn lớp thứ hai là lớp sơn chính thức
- Sơn lớp thứ ba là lớp sơn bóng
- Sấy ở nhiệt độ 50°C để làm căng bề mặt lớp sơn bóng, tăng độ bóng, đẹp trong 5 giờ.
- Bao gói bằng vải, cho vào hộp giấy.

Nguyên công 9: Lắp ráp các chi tiết chế tạo thành bộ tiêu tán năng lượng

Các khớp nối bằng bu-lông và đai ốc

Các khớp nối bằng bu-lông phải được thiết kế và hoàn thiện phù hợp với các thực tiễn kỹ thuật và tuân theo các tiêu chuẩn đã được chấp thuận. Tất cả các lỗ bu-lông phải được khoan, đục theo yêu cầu sao cho khớp với bu-lông với độ chính xác thích hợp. Các bu-lông phải có vòng đệm và khoá hãm như yêu cầu. Các bộ phận để ghép chính xác phải được lắp với các chốt dẫn hướng. Nói chung, các lỗ để bắt bu-lông, đai ốc phải có cùng khả năng bảo vệ chống han rỉ như các thiết bị còn lại (chủ thể).

Bu-lông và đai ốc phải có các đường ren tiêu chuẩn tính theo hệ mét và phải được chế tạo từ thép không gỉ.

Tất cả các khớp nối bằng bu-lông và đai ốc phải được bảo vệ chống han rỉ thích hợp. Tất cả các bu-lông, đai ốc, đinh và vít (bao gồm cả các vòng đệm) đều phải được chế tạo từ thép không gỉ hoặc được mạ kẽm nóng với chất lượng. Bu-lông và vít có đầu kiểu lục giác.

Nguyên công 10: Kiểm tra các kích thước lắp ráp và kiểm tra hoạt động của bộ tiêu tán năng lượng không bị kẹt, rò rỉ dầu.

Các kích thước phải đạt đúng theo bản vẽ và yêu cầu kỹ thuật ghi trên bản vẽ như độ bóng bề mặt, các mối hàn phải ngấu, không rỗ, khuyết tật. Để thực hiện điều này ta làm theo trình tự như sau:

- Mối hàn phải tuân thủ theo yêu cầu của AWS D1.1. Mối hàn thép không gỉ phải được thực hiện tại phân xưởng trang bị có sử dụng điện cực hàn bằng thép không gỉ.
- Các thiết bị tiêu tán năng lượng phải được đánh số cho từng thiết bị. Các số phải bao gồm lô của sản phẩm, ngày chế tạo, lực thiết kế, và số của thiết bị.
- Các thiết bị tiêu tán năng lượng phải được lắp ráp tại nhà máy. Nó cũng phải có thể tháo rời trong quá trình kiểm định bộ phận. Do đó các bộ phận có thể phải được đánh số như trên bản vẽ chế tạo để có thể lắp lại hoàn chỉnh như cũ.
- Nhà chế tạo phải cung cấp toàn bộ các bản vẽ chế tạo, vật liệu, yêu cầu kỹ thuật chất lượng.

Tài liệu tham khảo

1. Sổ tay thiết kế cơ khí, Tập I, II, III, IV, Viện nghiên cứu cơ khí, 1977.
2. Công nghệ chế tạo máy, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1998, Tập 1,2.
3. Đồ gá, Cơ khí hoá & Tự động hoá, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1999.
4. Tài liệu hướng dẫn thiết kế môn học chế tạo phôi, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 1978.
5. ASAB, Welding Handbook, Filler material for manual and automatic welding.
6. Sổ tay Công nghệ chế tạo máy, tập 1, 2, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2001.
7. Sổ tay thiết kế cơ khí, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2004.
8. Vật liệu học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2001.
9. Công nghệ dập nguội, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2000.

BÁO CÁO KHOA HỌC TẠI HỘI THẢO
NAGOYA - NHẬT BẢN

VIBRATION CONTROL OF STAYED CABLES USING FLUID DAMPERS

N. D. Anh ¹, P.X. Khang ¹, T. X. Khiem ², N. N. Long ³, N.C. Sang ⁴, P.X. Son ⁵, N.C. Thang ⁴, T.H. Vinh ¹,
and H. Matsuhisa ⁶,

¹ Institute of Mechanics, Vietnam

² Department of inspection, Vietnam

³ Hanoi University of transportation, Vietnam

⁴ National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

⁵ TEDI Corporation, Vietnam

⁶ Department of Mechanical Engineering, Kyoto University, Japan

The purpose of this paper is to outline some principal steps in the problem of taut cable vibration mitigation by using linear viscous damper. The structure and concept for fluid viscous damper are presented with numerical analysis and experiments. The damper performance with respect to the cable vibration modes is of particular interest. The dynamics of the cable-damper system depends on the frequency, the location of damper, parameters of the damper. The modal damping ratios and optimal values of parameters of the damper are investigated. The experiments with fluid dampers-cables system are carried out in the Laboratory and on Ben Coc stayed cable bridge in Hatay province, Vietnam.

1. INTRODUCTION

In recent years, construction of cable-stayed bridges has been very active in the world. Vietnam and Japan develops an intensive cooperation in cable bridges construction, namely Can Tho Bridge funded by JBIC (Japan Bank of International Cooperation) with cost of 38 billion JY and Bai Chay Bridge funded through ODA with an estimated cost of 70 million USD.

The problems of monitoring, maintenance and vibration control of cable bridges are of high interest [1, 2]. Stayed cables used in long span bridges are flexible and hence they may lead to large-amplitude cable vibrations induced by direct environmental loads such as those by moving

vehicles, wind or wind-rain combination. The significant influence of cable vibration on the dynamics of cable-stayed bridges has been indicated by many authors [3, 4]. Thus, the cable vibration control problem is a serious concern to engineers in the design of new bridges and retrofit of existing bridges. Full-scale measurements show that vibrations of moderate amplitude can occur over a wide range of modes of cable vibration [5]. Damping elements are efficient tools for structures to achieve high performance at relatively low cost when the structures are subjected to external disturbances. To suppress undesired cable vibrations subjected to dynamic loadings one may install passive, active or semi-active energy dissipation devices close to the cable end at bridge deck [6]. In recent years, serious efforts have been undertaken to investigate energy dissipation systems, such as friction, viscous, tuning mass or liquid dampers, which are characterized by a capacity to dissipate energy when subjected to deformation or motion [7]. The energy dissipation may be achieved either by converting kinetic energy to heat or by transferring energy among vibration modes. When a stayed cable is subjected to moderate external disturbance, a good performance may be expected when connected to linear fluid viscous damper. A fluid viscous damper dissipates energy by forcing a fluid through an orifice causing a damping force. In the linear viscous dampers this force is proportional to the relative velocity between the damper ends. As it was shown by Lee and Taylor [8] the addition of currently available dampers to a structure could provide damping ratio as high as 35%. Fluid viscous dampers have been investigated and numerically investigated by many authors [9-12]. Nonlinear viscous dampers design has recently been addressed by Pekan et al. [13]. Some studies have been published regarding viscous dampers design methodologies. Gluck et al. [14] suggested a design method for supplemental dampers in multi-story structures, adapting the optimal control theory by using a linear quadratic regulator (LQR).

The purpose of this paper is to outline some principal steps in the problem of taut cable vibration mitigation by using linear viscous dampers. The structure and concept of fluid viscous damper for cable vibration are presented with a comparison of theoretical calculation and experiment for a fluid viscous damper. The damper performance in the cable vibration modes is of particular interest. The dynamics of the cable-damper system depends on the frequency, the location of damper, parameters of the damper. The modal damping ratios and optimal values of parameters of the damper are investigated. The experiments with fluid dampers-cables system are carried out in the Laboratory and on Ben Coc stayed cable bridge in Hatay province, Vietnam.

2. FLUID VISCOUS DAMPER

A prototype fluid viscous damper was manufactured as shown in Fig. 1. This damper has the following parameters; stroke is 0.05m, diameter of cylinder is 0.04m and the designed damping force is $F=0.1939 \cdot V$ (kN/cm/s), where V is the velocity.



Fig. 1 Prototype damper for testing in laboratory.



Fig. 2: Test set up in the laboratory.

In order to check the designed damping force, a test in the laboratory was carried out as shown in Fig. 2. The damper was tested at three frequencies and amplitudes of piston stroke, namely $f_{1,2,3} = 1, 2, 3$ (Hz) and $A_{1,2,3} = 1.0, 0.85, 0.75$ (cm), respectively. The displacements of the piston are $X(t) = A_{1,2,3} \cdot \sin(2\pi f_{1,2,3} t)$. The experimental results in comparison with theoretical calculations

regarding the relationship between damping force F and the displacement of damper at three different frequencies are plotted in Fig. 3. According to these figures the closed loops of displacement and damping force are ellipses. Fig. 4 also shows the experimental results in comparison with theoretical results regarding the relationship between damping force F and velocity V of the damper, where $V(t) = A_{1,2,3} * 2\pi f_{1,2,3} * \cos(2\pi f t)$. This shows that the theoretical and experimental results are in good agreement.

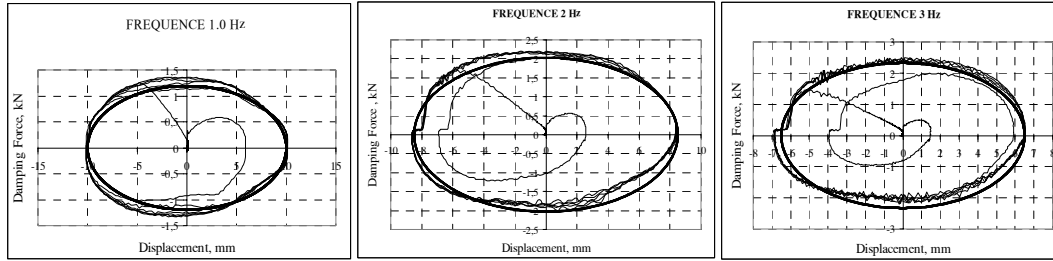


Fig.3 Loops of damping force/ displacement in testing frequency of 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz
(thick lines are theoretical results and thin lines are experimental results).

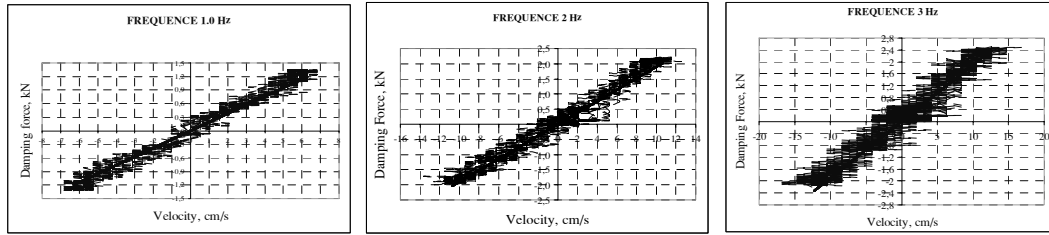


Fig.4 Damping force – Velocity in testing frequency 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz.
(thick lines are theoretical results and thin lines are experimental results).

3. DAMPER-CABLE SYSTEM

The free vibration of a taut cable with attached linear viscous damper near the end of the cable was investigated [15] and extended by Krenk [16] who used a complex wave number to obtain an asymptotic solution for the modal damping. A numerical investigation was carried out by Pachero et al. [17] to obtain modal damping estimation curves. The effect of the damper depends on its adequate damping coefficient, namely if the damper force is too large it will act as a support, and if

the damper force is too small it will fail to dissipate energy. Within two limits there would be an intermediate optimal tuning of damper corresponding to a maximum modal damping.

3.1 Damping Characteristic of a Cable with a Damper

The problem of the taut cable vibration mitigation by using transverse linear viscous damper is considered. The effect of sag and bending stiffness is neglected here because the linear taut-string approximation is used. Thus, considering small free vibration of a cable-damper system assume that the cable force is large compared to its weight, bending stiffness and internal damping are negligible. A model of a simply supported taut cable with linear viscous damper is shown in Fig. 5.

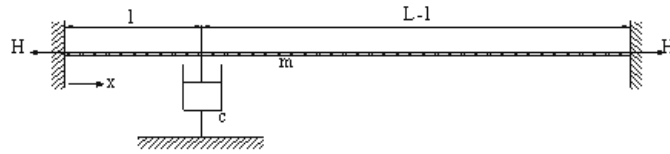


Fig. 5 A model of taut cable with a viscous damper.

The transverse vibration of the cable-damper system is described by the equation

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - H \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = c \frac{\partial u(l, t)}{\partial t} \delta(x - l), \quad (1)$$

where $u(x, t)$ is transverse deflection, m is mass per unit length, H is horizontal cable force, x is coordinate along the cable chord axis, and $\delta(x)$ is the Dirac delta function. The solution can be given by the form of separate variables as

$$u(x, t) = X(x)T(t). \quad (2)$$

$$T(t) = e^{i\lambda t}, \quad X(x) = \begin{cases} A \sin \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} x, & 0 \leq x \leq l \\ B \sin \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} (L - x), & l \leq x \leq L \end{cases} \quad (3)$$

Taking into account the continuity of displacement at the point of damper location yields

$$A \sin \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} l = B \sin \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l) = X(l) \quad . \quad (4)$$

The conditions of forces balance at the point of damper location is

$$H \left(\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l+} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l-} \right) = c \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} . \quad (5)$$

This gives the following equation [16]

$$A \cos \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} l + B \cos \lambda \sqrt{\frac{m}{H}} (L-l) = -\frac{icX(l)}{\sqrt{mH}} . \quad (6)$$

Eqs. (4) and (6) give the frequency equation which determines the eigenvalues λ_i .

Here, the following dimensionless damping parameter is introduced.

$$\theta = \frac{c}{\sqrt{mH}} . \quad (7)$$

The damped natural frequency ω_i and the modal damping ratio ξ_i are given by

$$\omega_i = \text{Re}(\lambda_i) , \quad \xi_i = \frac{\text{Im}(\lambda_i)}{\theta} . \quad (8)$$

The damped frequencies and damping ratios of each vibration mode are functions of l/L and θ in different.

Suppose the damper location is given. In order to investigate the behaviour of modal damping ratios, ξ_i versus θ corresponding to the first three vibration modes ($i=1, 2$, and 3) are shown in the Fig. 6(a) for the interval $\theta = [0,100]$ and for $l/L=0.05$. Fig. 6(b) depicts three curves of ξ_1 corresponding to three different damper locations: $l/L=0.05, 0.1$, and 0.3 . It is seen that the modal damping ratios increase when θ is increasing. They reach almost the same maximal value but at different values of θ , as shown in Table 1. Thus, the tuning effect of damper can be clearly seen in the Fig. 6(a, b, c). Further, the damping effect is better when the relative distance of damper location is larger. It is obtained in the Figure 6c that the maximum damping ratio is larger for higher frequencies, see also Table 1. Plots of non-dimensional damped frequencies ω_i/ω_1^0 versus θ are shown in Fig.s 7(a,b) where ω_1^0 is the undamped fundamental natural frequency.

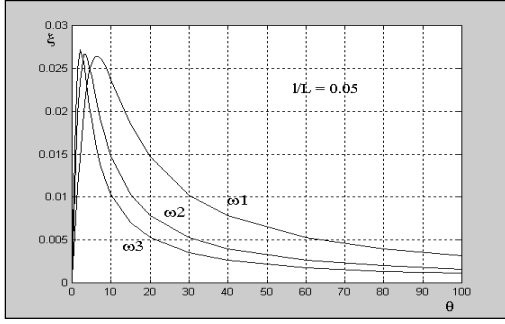


Fig. 6(a) Plots of ξ versus θ .

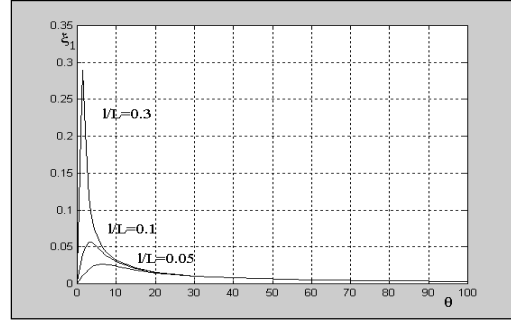


Fig. 6(b) Plots of ξ_1 with different I/L .

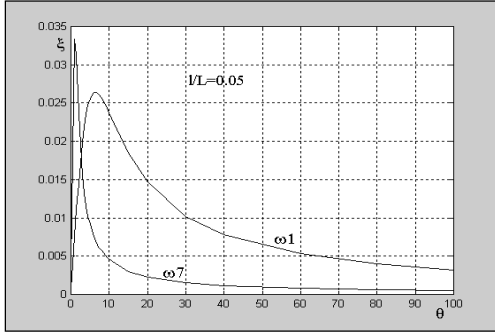


Fig. 6(c) Plots of ξ_1 and ξ_7 versus θ .

Table 1: Maximum modal damping ratios.

θ	6.45	3.25	2.25
ξ	$\xi_{1\max}$ =0.0264	$\xi_{2\max}$ =0.0267	$\xi_{3\max}$ =0.0272

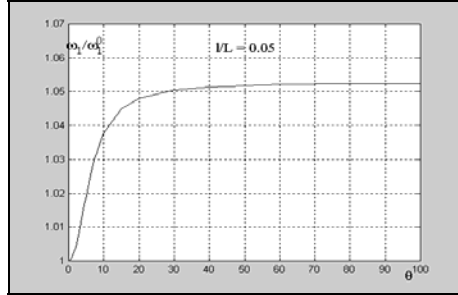


Fig. 7(a) Plots of non-dimensional damped frequencies ω_i / ω_1^0 versus θ .

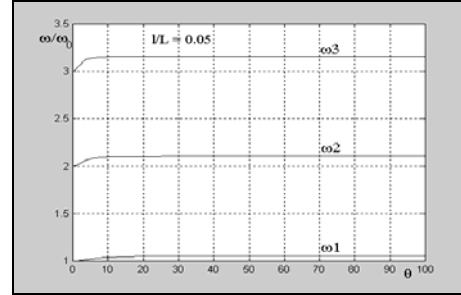


Fig. 7(b) Plots of non-dimensional damped frequencies ω_i / ω_1^0 versus θ .

3.2 Cable-Damper Experiment in Laboratory

In order to check the theoretical result, a experiment of damper-cable system was carried out in Laboratory for different parameters (damping forces, cable tensions) of damper and cable as shown in Fig. 9. The theoretical and experimental results were in reasonable agreement.



Fig.9 Damper-cable experiment in the Laboratory

4. CABLE-DAMPER EXPERIMENT IN SITU

Ben Coc stayed cable bridge designed by Thang Long Consultant under Thang Long Construction Corporation was built in 2002. The bridge has 3 spans, 4m-width, main girder is made of shape steel I450, cross girder is of I400, cross bracing is of L100x10 and L75x8. Bridge deck is concrete. Design load is H10 (means traffic flow with the trucks weigh 10T, distance 4 m/each, and one heavy truck 13T). Piers are concrete columns, and two towers are steel frames. Cable characteristic per a strand: Cross section area-140mm², weight/1m-1,37 kg (see Fig.10). Cable acceleration response without and with dampers are shown in Figs. 11 and 12, respectively. Vibration reduction of cable acceleration is shown in Table 2. It is seen that the efficiency is about 30%.



Fig. 10 Damper-cable experiment in Ben Coc Bridge.

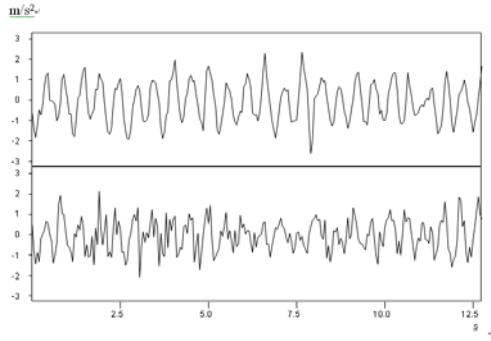


Fig.11 Cable acceleration response
without damper.

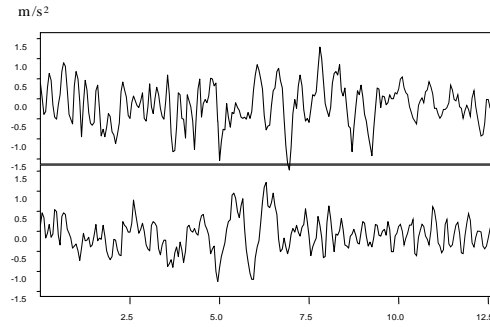


Fig.12 Cable acceleration response
With damper.

Table 2 Maximum values of cable acceleration.

	Without damper		With damper		Efficiency (%)
	First measurement m/s ²	Second measurement m/s ²	First measurement m/s ²	Second measurement m/s ²	
Cable No.1	2.64	2.59	1.78	1.64	32.58
Cable No.2	2.12	2.08	1.25	1.51	28.77

5. CONCLUTION

Construction of cable-stayed bridges has been very active in the world, in particular, become popular in Vietnam. Stay cables used in long span bridges are made of strands of high strength and therefore have very low internal damping and are prone to vibrations. Thus, the cable vibration control problem is a serious concern to engineers in the design of new bridges and for retrofit of existing bridges. To suppress undesired cable vibrations subjected to dynamic loadings one may install passive, active or semi-active energy dissipation devices close to the cable end at bridge desk. In recent years, serious efforts have been undertaken to investigate energy dissipation systems, such as friction, viscous, tuning mass or liquid dampers, which are characterized by a capacity to dissipate energy when subjected to deformation or motion. In this paper some principal steps in the problem of taut cable vibration mitigation by using a linear viscous damper are outlined. The structure and concept for fluid viscous damper are presented with numerical and experimental

comparison for a fluid viscous damper. The damper performance in the cable vibration modes is of particular interest. The modal damping ratios and optimal values of parameters of the damper are investigated. The experiments with fluid dampers-cables system are carried out in the Laboratory and on Ben Coc stayed cable bridge in Hatay province, Vietnam.

REFERENCES

1. D.L. Balageas (Ed.), *Structural Health Monitoring 2002*, Destech Publications, Lancaster, 2002.
2. Y. Fujino, Vibration, control and monitoring of long-span bridges-recent research, developments and practice in Japan, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 58, Issue 1, January 2002, Pages 71-97.
3. Abdel-Ghaffar A.M., Khalifa M.A., Importance of cable vibration in dynamics of cable-stayed bridges. *ASCE J. of Engineering Mechanics*, 1991, **117**, 2571-2589.
4. Caetano E. et al., The role of stay cables in the seismic response of cable-stayed bridges, *16th Int. Conf. on Modal Analysis*, Santa Barbara, California, USA, 1998, vol.2, 1346-1352.
5. Main, J. A., and Jones, N. P., Full-scale measurements of stay cable vibration, *10th Int. Conf. on Wind Engineering*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1999, 963–970.
6. Premont, A. *Vibration control of active structures*, Second Edition, Kluwer, Dordrecht.
7. Soong T.T., Supplemental energy dissipation: State-of-the-art and state-of-the-practice, *Int. Conf. on Advances in Structural Dynamics*, Eds. Ko J.M. and Xu Y.L., Elsevier, 2000, 109-120.
8. D. Lee and D.P. Taylor, Viscous damper development and future trends. *Struct Des Tall Buil* **10** 5 (2002), pp. 311–320.
9. D.P. Taylor and M.C. Constantinou, Testing procedures for high-output fluid viscous dampers used in building and bridge structures to dissipate seismic energy. *Shock Vib* **2** 5 (1995), pp. 373–381.
10. Aiken, I.D. and Kelly, J.M., Cyclic Dynamic Testing of FVDs. Proceedings, Caltrans, Fourth Seismic Research Workshop, Sacramento, California, July, 1996.
11. Fu, Y. and Kasai, K. (1998), Comparative Study of Frames Using Visco-elastic and Viscous Damper, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(5), 513-522.

12. Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Hammel, W. and Sigaher, A.N. (2000), "New Configurations of Fluid Viscous Dampers for Improved Performance", *Symposium of Passive Control Structures – 2000*, Tokyo Institute of Technology, 261-272.
13. Pekan, G., Mander, J.B. and Chen, S.S. (1999), "Fundamental Considerations for The Design of Nonlinear Viscous Damper", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 1405-1425.
14. N. Gluck, A.M. Reinhorn, J. Gluck and R. Levy, Design of supplemental dampers for control of structures. *J Struct Eng* **122** 12 (1996), pp. 1394–1399.
15. Kovacs, Zur Frage der Seilschwingungen und der Seildämpfung. *Die Bautechnik* **59** 10 (1981), 325–332.
16. Krenk S., Nielsen R. K., Vibration of a shallow cable with a viscous damper. *Proceedings of the Royal Society, London, A* **458** (2001), 339–357.
17. Pacheco, B. M., Fujino, Y., and Sulekh, A., Estimation curve for modal damping in stay cables with viscous damper, *J. Struct. Eng.*, 1993, **119**, N6, 1961–1979.