

PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG CỦA TRỤ CẦU SÔNG HÀN CHỊU VA ĐẬP CỦA TÀU THỦY

VIBRATION ANALYSIS OF THE HAN-RIVER BRIDGE-PIERS DUE TO THE IMPACT OF SHIPS

PGS TS. Nguyễn Xuân Toản¹, ThS. Nguyễn Đức Hoàng²

¹Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, nguyensexuantoan2007@gmail.com

²Đại học Duy Tân, hoangts2003@gmail.com

Tóm tắt: Cầu sông Hàn là một trong những công trình rất quan trọng trong sự nghiệp xây dựng và phát triển của thành phố Đà Nẵng. Do công trình được thiết kế nhịp quay để tàu lớn qua lại nên trụ cầu tiềm ẩn nhiều rủi ro khi bị va đập của tàu thủy. Bài toán phân tích dao động của trụ cầu bị va đập của tàu thủy là rất cần thiết. Trong bài báo này các tác giả giới thiệu một mô hình và kết quả phân tích hiệu ứng va đập của tàu vào kết cấu trụ T_5 của cầu sông Hàn trên cơ sở áp dụng định lý biến thiên động lượng, nguyên lý d'Alembert và các phương pháp số. Trong đó hệ số cản được xác định theo phương pháp của Rayleigh. Đây là mô hình nghiên cứu đơn giản có thể áp dụng phân tích cho các kết cấu trụ cầu tương tự bị va đập của tàu thủy khi xét hệ làm việc trong miền đàn hồi.

Từ khóa: Phân tích; dao động; trụ cầu; cầu sông Hàn; va đập; tàu thủy.

1. Giới thiệu chung

Trên thế giới có nhiều nghiên cứu về rung động ngang của trụ cầu và móng cọc dưới tác dụng của lực động đất hay địa chấn hay lực tác dụng trùng phục như Flores – Berrones cộng sự (1982), Han (1989), Markris, (1994). Nhưng nghiên cứu về va đập hay va chạm của tàu vào kết cấu trụ cầu là vấn đề mới mẻ cả trên thế giới lẫn trong nước. Lý thuyết va chạm vật rắn phá huỷ và không phá huỷ được giáo sư Fourny đề cập (1993) và giáo sư Romero đề cập (2003). Nghiên cứu va chạm trong lĩnh vực kỹ thuật ở các cấp độ, đối tượng có kích thước lớn và thuyết va chạm được áp dụng cho vật liệu rắn hoặc vật liệu biến dạng được giáo sư Frémond cùng cộng sự đưa ra (2003) và được tổ chức hội thảo vào (2007). Từ việc nghiên cứu đưa ra thuyết va chạm và diễn biến của quá trình va chạm ngành công nghiệp sản xuất ô tô đã đưa ra hệ thống cảnh báo va chạm và hệ thống phanh tự động bởi giáo sư Tamura và cộng sự của ông đưa ra năm 2001 và giáo sư Jansson và cộng sự đưa ra năm 2002 [6], [7].

Các kết quả nghiên cứu về va đập của tàu vào kết cấu trụ cầu chưa thực sự phổ biến trên thế giới cũng như trong nước vì lĩnh vực nghiên cứu này khá phức tạp và chi phí thử nghiệm rất tốn kém. Trong phạm vi bài viết này các tác giả xây dựng một mô hình đơn giản xét đến va đập của tàu thủy vào trụ T_5 của cầu Sông Hàn và phân tích dao động của hệ khi chịu va đập của tàu có trọng tải 10.000 DWT di chuyển với vận tốc dưới 6,1 m/s.

2. Cơ sở tính toán

2.1. Mô hình tính toán

Xét va đập của tàu vào trụ T_5 của cầu sông Hàn theo

Abstract: Han bridge is one of the first and important structure of Da Nang urban construction planning and development. The bridge has a rotating span for the ship circulation, therefore the risk of ship collision with the pier is very high. For that reason, it is necessary to analysis the vibration of pier when the collision of ship happens and assess the safety factor of the structure. This study introduces a computational model of T_5 pier of Han bridge and solved its vibration problems based on Principle of Linear Impulse and Momentum, d'Alembert Theorem and Numerical methods. The Rayleigh method is used to determine the drag coefficient. This is a simple study model that can be applied for the analysis similar piers under the collision of ship while the structure working in elastic range.

Key words: Analysis; vibration; piers; Han River Bridge; impact; ships.

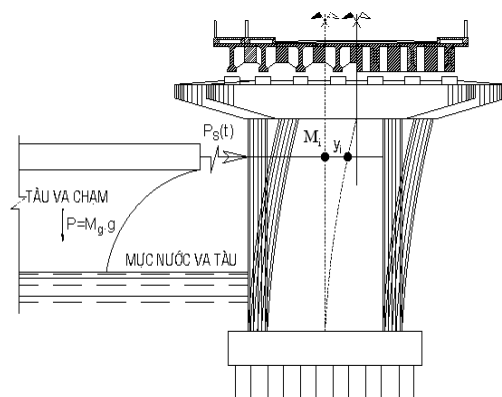
hai trường hợp sau:

- Tàu va đập dọc vào thân trụ như hình 1
- Tàu va đập ngang vào thân trụ như hình 2

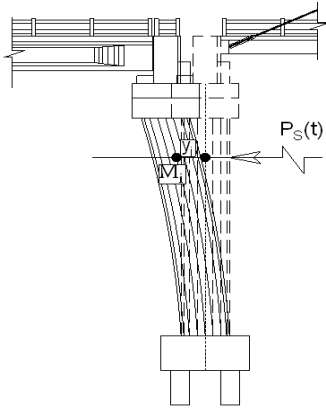
Căn cứ vào tài liệu thiết kế [1]

Xét trường hợp bất lợi khi nhịp chính quay 90° cho tàu qua lại, chỉ còn nhịp cầu dẫn kê trên trụ T_5 , một cách gần đúng ta xét mô hình gồm 3 khối lượng tương đương được mô hình hóa như hình 3 và hình 4: khối lượng một phần kết cấu nhịp cầu dẫn và xà mũ trụ được tập trung về M_3 ; khối lượng một phần thân trụ được tập trung về M_2 là vị trí chịu va đập của tàu; khối lượng một phần thân trụ bên dưới tập trung về M_1 .

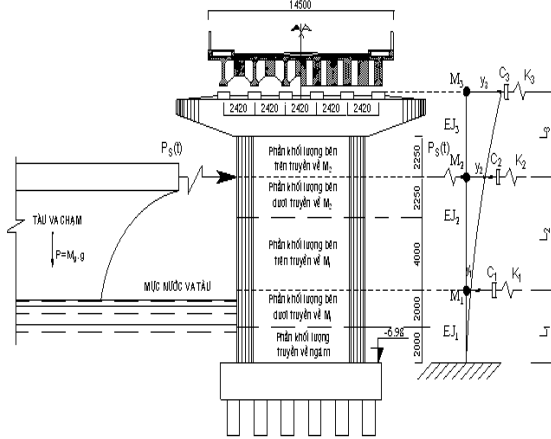
Trong phạm vi bài viết này các tác giả chỉ xét hệ làm việc trong giai đoạn đàn hồi, bỏ qua năng lượng bị mất mát do biến dạng không phục hồi, ma sát, nhiệt...



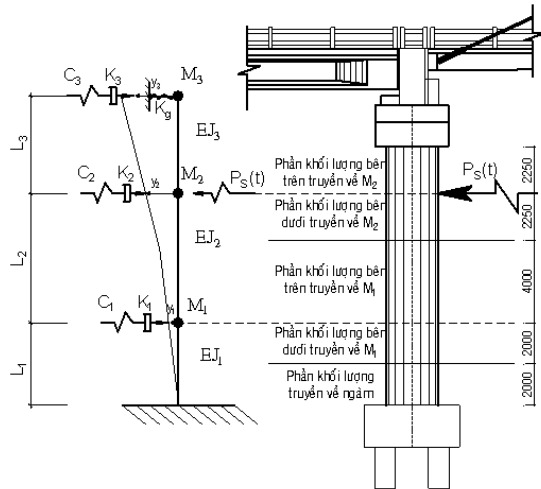
Hình 1. Tàu và đập dọc vào thân trụ T_5



Hình 2. Tàu và đập ngang vào thân trụ T_5



Hình 3. Sơ đồ phân tích tàu và đập dọc vào trụ T_5



Hình 4. Sơ đồ phân tích tàu và đập ngang vào trụ T_5

2.2. Lực va tàu vào trụ cầu

Lực va tàu vào trụ cầu có thể xác định bằng thực nghiệm, song do không có điều kiện làm thực nghiệm, lực va tàu vào trụ cầu T_5 được xác định gần đúng theo công thức của AASHTO [3]:

$$P_s(t) = 1,2 \cdot 10^5 \cdot v \cdot \sqrt{DWT} \quad (1)$$

Trong đó:

$P_s(t)$: lực va tàu tính tương đương (N)

DWT : trọng tải của tàu (Mg)

v: vận tốc va tàu (m/s)

2.3. Phương trình vi phân dao động của hệ

Xét tàu có khối lượng M_g di chuyển với vận tốc v tại thời điểm chuẩn bị va đập vào trụ cầu. Khi đó trụ vẫn đứng yên nên ta có động lượng của hệ (gồm tàu và trụ) được xác định theo công thức (2):

$$Q_{ox} = M_g \times v \quad (2)$$

Khi tàu va đập vào trụ cầu, xét tại thời điểm hệ ở trạng thái cân bằng và không chuyển động, động lượng của hệ:

$$Q_{1x} = 0 \quad (3)$$

Xung lượng của hệ khi va đập tính theo giá trị trung bình của lực $P_s(t)$:

$$S = -P_s(t) \cdot \Delta t \quad (4)$$

Áp dụng định lý biến thiên động lượng ta có:

$$Q_{1x} - Q_{ox} = S \quad (5)$$

Thay (2), (3) và (4) vào (5) ta có:

$$P_s(t) = \frac{M_g \times v}{\Delta t} \quad (6)$$

Hoặc thời gian va đập:

$$\Delta t = \frac{M_g \times v}{P_s(t)} \quad (7)$$

Trong đó:

$P_s(t)$: lực va trung bình của tàu vào trụ

v : vận tốc tàu trước khi va đập

Δt : thời gian duy trì va đập

M_g : khối lượng tàu

Xét mô hình kết cấu như hình 3, 4 áp dụng nguyên lý d'Alembert ta có hệ phương trình vi phân dao động của kết cấu trụ cầu T_5 :

$$[M] \cdot \{\ddot{y}_t\} + [C] \cdot \{\dot{y}_t\} + [K] \{y_t\} = \{P_s(t)\} \quad (8)$$

Trong đó:

$[M]$: ma trận khối lượng

$[K]$: ma trận độ cứng

$[C]$: ma trận hệ số cản

$\{\ddot{y}_t\}$, $\{\dot{y}_t\}$, $\{y_t\}$: lần lượt là vectơ gia tốc, vectơ vận tốc và vectơ biên độ dao động.

$\{P_{(t)}\}$: vectơ tải trọng tác dụng

Để phân tích dao động của hệ, trước hết ta phải xác định các tham số của hệ phương trình (8) và sau đó áp dụng các phương pháp số để giải.

2.4. Xác định các tham số của hệ phương trình vi phân dao động

2.4.1 Ma trận độ cứng của hệ $[K]$

Ma trận độ cứng của hệ theo phương dọc tiết diện trụ

cầu như sau (9):

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 64048,694 & -26347,600 & 8060,866 \\ -26347,600 & 23245,239 & -10057,088 \\ 8060,866 & -10057,088 & 5004,077 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ma trận độ cứng của hệ theo phương ngang tiết diện trụ cầu như sau (10):

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 47093,360 & -19377,660 & 5930,557 \\ -19377,660 & 17113,739 & -7407,704 \\ 5930,557 & -7407,704 & 3687,253 \end{bmatrix} \quad (10)$$

2.4.2 Ma trận khối lượng của hệ [M]

Khối lượng của hệ được đưa về ba khối lượng M_1, M_2, M_3 , từ cấu tạo của hệ ta xác định được ma trận khối lượng như sau (11):

$$[M] = \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 \\ 0 & 0 & m_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3548,75 & 0 & 0 \\ 0 & 2661,50 & 0 \\ 0 & 0 & 7575,52 \end{bmatrix} \quad (11)$$

2.4.3 Ma trận hệ số cản [C]

Để xác định hệ số cản C ta phân tích dao động riêng của hệ không cản (12):

$$[M] \cdot \{\ddot{y}\} + [K] \{y\} = \{0\} \quad (12)$$

Xác định tần số dao động riêng ω_i và sau đó xác định ma trận hệ số cản [C] theo công thức của Rayleigh (13):

$$[C] = \alpha \cdot [M] + \beta \cdot [K] \quad (13)$$

α và β xác định theo công thức (14):

$$\xi_i = \frac{\alpha}{2 \cdot \omega_i} + \frac{\beta \cdot \omega_i}{2} \quad (i = 1, 2) \quad (14)$$

Kết quả tính toán như bảng 1.

Bảng 1: Hệ số cản của trụ T5:

STT	Tiết diện	K/ thời gian (s)	Số vòng	vòng / phút	Tần số	α	β
1	Dọc thân trụ	0-9	1	6,667	0,111	0,0056	0,4500
2	Ngang thân trụ	9-18	1	6,667	0,111		
1	Ngang thân trụ	0-37	1	1,622	0,027	0,0014	1,8500
2	Ngang thân trụ	37-74	1	1,622	0,027		

2.4.4 Xác định lực và tàu thuyền

Áp dụng công thức (1) và (7) ta xác định Δt như bảng 2 và bảng 3:

Bảng 2. Thời gian và đập dọc tàu vào trụ

Loại tải trọng	v^h (m/s)	Mg (DWT)	$P_s(t)$ (KN)	Δt (s)
tàu 10.000DWT	6,1	10000	73200,0	0,083
tàu 1.000DWT	5,3	1000	20112,1	0,026
Sà lan	4,4	500	11806,4	0,019

Bảng 3. Thời gian và đập ngang tàu vào trụ

Loại tải trọng	v^h (m/s)	Mg (DWT)	$P_s(t)$ (KN)	Δt (s)
Tải 10.000DWT	6,1	10000	36466,7	0,167
Tải 1000DWT	5,3	1000	10013,9	0,053
Sà lan	4,4	500	5873,4	0,037

Một cách gần đúng ta xác định lực va lớn nhất $P_s(t)$ theo công thức (6) và giả thiết là cường độ không đổi trong khoảng thời gian duy trì lực va trên trụ. Kết quả tính toán $P_s(t)$ ứng với từng trường hợp như (17) và (19).

2.4.5 Lực đàn hồi của gối cầu

$$F_{dhg} = K_g \times y \quad (15)$$

Trong đó:

K_g : độ cứng của gối cầu; y : chuyển vị của gối

3. Áp dụng tính toán

Tính toán cho tàu có trọng tải $M_g=10.000$ DWT, va đập dọc tàu vào dọc tiết diện thân trụ với vận tốc thiết kế $V^h=6,1$ (m/s).

Hệ phương trình dao động của trụ T_5 khi tàu va đập dọc tàu vào dọc tiết diện thân trụ.

$$\begin{bmatrix} 3548,75 & 0 & 0 \\ 0 & 2661,50 & 0 \\ 0 & 0 & 7575,50 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 28823,636 & -11856,635 & 3627,640 \\ -11856,635 & 10461,762 & -4525,7440 \\ 3627,640 & -4525,7440 & 2256,4058 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 64048,694 & 26347,600 & 8060,866 \\ 26347,600 & 23245,239 & 10057,088 \\ 8060,866 & 10057,088 & 5004,077 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_s(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Với:

$$P_s(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 3200 & 0 \leq t \leq 0,083 \\ 0 & t > 0,083 \end{cases} \quad (17)$$

Tính toán cho tàu có trọng tải $M_g=10.000$ DWT, va đập ngang tàu vào ngang tiết diện thân trụ với vận tốc thiết kế $V^h=6,1$ (m/s).

Hệ phương trình dao động của trụ T_5 khi tàu va đập ngang tàu vào ngang tiết diện thân trụ:

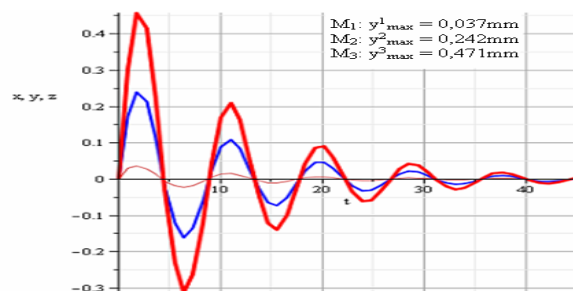
$$\begin{bmatrix} 3548,75 & 0 & 0 \\ 0 & 2661,50 & 0 \\ 0 & 0 & 7575,50 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8712,7685 & -3584,872 & 1097,531 \\ -3584,872 & 3166,444 & -1370,252 \\ 1097,531 & -1370,252 & 683,2023 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4709,360 & 1937,7660 & 8060,866 \\ 1937,7660 & 1711,3739 & 7407,704 \\ 8060,866 & 1711,3739 & 3687,253 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{dhg} \\ P_s(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Với:

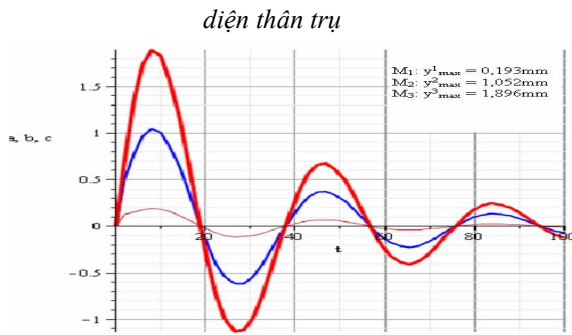
$$P_s(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 36466,7 & 0 \leq t \leq 0,167 \\ 0 & t > 0,167 \end{cases} \quad (19)$$

F_{dhg} : Xác định theo công thức (15)

Giải phương trình (16) và (18) bằng phần mềm Maple v.13 cho kết quả:



Hình 5. Biên độ dao động của T_5 khi tàu va đập dọc tiết diện thân trụ



Hình 6. Biên độ dao động của T_5 khi tàu va đập ngang tiết diện thân trụ

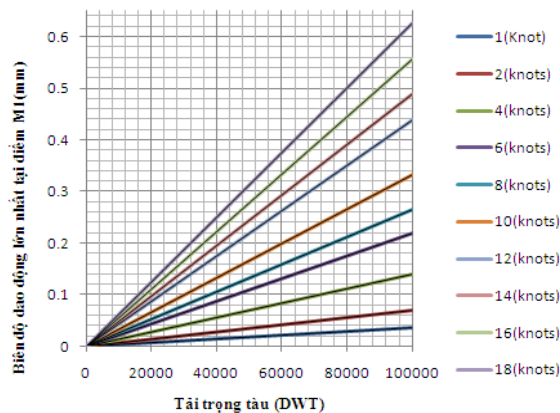
Đối với các trường hợp tàu có trọng tải và vận tốc di chuyển trên sông khác cũng tính toán tương tự như trên cho phép chúng ta phân tích quan hệ giữa biên độ dao động của trụ với tải trọng tàu và vận tốc tàu.

4. Phân tích quan hệ giữa biên độ dao động với tải trọng tàu và vận tốc tàu

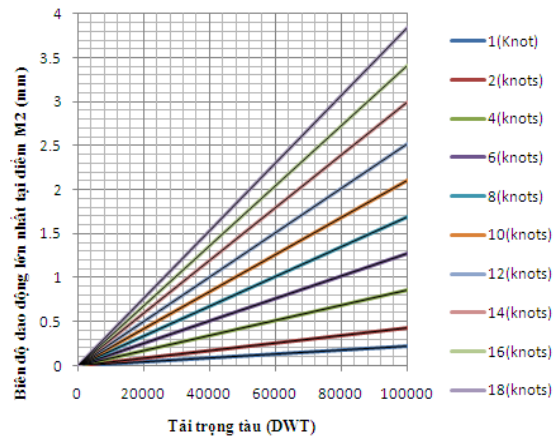
Tính toán tương tự cho các trường hợp tải trọng tàu và vận tốc va tàu khác nhau ta lập được các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng tàu và vận tốc va tàu với biên độ dao động lớn nhất của trụ như hình (7),(8) và (9).

Theo kết quả phân tích trên hình (7),(8) và (9) cho thấy biên độ dao động lớn nhất của trụ tăng gần như tỉ lệ thuận với tải trọng và vận tốc va của tàu. Các quan hệ này gần như tuyến tính nên có thể xấp xỉ tuyến tính, ta có thể áp dụng để tra cứu ngược biên độ dao động của trụ T_5 cầu sông Hàn tương ứng với tải trọng và tốc độ thiết kế của tàu khác nhau.

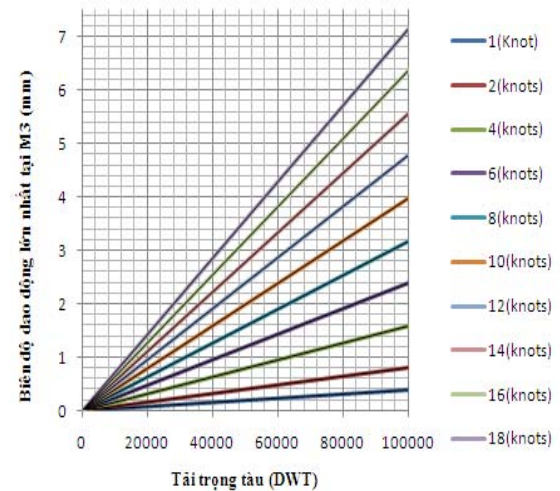
Khi thiết kế các kết cấu tương tự, thay vì phân tích cho nhiều tốc độ và tải trọng tàu khác nhau, ta có thể phân tích xác định chuyển vị động tương ứng với 2 cấp tải trọng và tốc độ khác nhau để nội suy ra các giá trị chuyển vị động tương ứng với các cấp tải trọng và tốc độ thiết kế hoặc tải trọng và tốc độ thực tế của tàu cho phép lưu thông trên sông Hàn.



Hình 7. Quan hệ giữa tải trọng, vận tốc tàu với biên độ dao động của khối lượng M_1 của trụ T_5



Hình 8. Quan hệ giữa tải trọng, vận tốc tàu với biên độ dao động của khối lượng M_2 của trụ T_5



Hình 9. Quan hệ giữa tải trọng, vận tốc tàu với biên độ dao động của khối lượng M_3 của trụ T_5

5. Kết luận

Bài báo giới thiệu mô hình và kết quả phân tích hiệu ứng va đập của tàu vào kết cấu trụ T_5 cầu sông Hàn trên cơ sở áp dụng định lý biên thiên động lượng, nguyên lý d'Alembert và các phương pháp số. Trong đó hệ số cản được xác định theo phương pháp Rayleigh. Đây là mô hình nghiên cứu đơn giản có thể áp dụng phân tích cho các kết cấu trụ cầu chịu va đập của tàu trong khai thác khi xét hệ làm việc trong miền đàn hồi. Có thể phân tích chính xác hơn khi xét đến tương tác với nền đất.



Theo kết quả nghiên cứu trên trụ T_5 của cầu sông Hàn với tỷ số cản 5% cho thấy biên độ dao động của trụ tăng gần như tỉ lệ thuận với tải trọng và vận tốc va của tàu. Các quan hệ này có thể xấp xỉ tuyến tính. Do vậy khi phân tích cho các kết cấu cầu vượt sông tương tự có thể phân tích xác định chuyển vị động tương ứng với 2 cấp tải trọng và tốc độ khác nhau để nội suy ra các giá trị chuyển vị động tương ứng với các cấp tải trọng và tốc độ thiết kế hoặc tải trọng và tốc độ thực tế của tàu thông thường. Như vậy có thể giảm được khối lượng tính toán mà vẫn chủ động trong nghiên cứu thiết kế và quản lý khai thác công trình.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Sở giao thông thành phố Đà Nẵng (1998), Hồ sơ bản vẽ thiết kế thi công công trình cầu vượt sông Hàn thành phố Đà Nẵng.
- [2]. Nguyễn Trọng, Tống Danh Đạo, Lê Thị Hoàng Yến (2001). Cơ học cơ sở - Phần động lực học. NXB. KHKT, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Xuân Toàn, Đặng Nguyễn Uyên Phương (2013). Phân tích dao động cầu cảng Thọ Quang chịu va đập của tàu thủy. Tạp chí KHCN Đại học Đà Nẵng, số 10(71)2013, trang 45-49.
- [4]. AASHTO (2005). Standard specifications for highway bridges 17th Ed., Washington, D.C.
- [5]. Francesco Freddi, Michel Fremoud (2010). “Collision and Fractures: A predictive theory”. European Journal of Mechanics A/Solids 29, pp 998-1007.
- [6]. Jonas Jansson, Fredrik Gustafson (2008). A framework and automotive application of collision avoidance decision making. Automatica 44, pp 2347-2351.
- [7]. P.C. Chang, C.P.Heins (1985). “Seismic study of curved bridges using the Rayleigh –ritz method” Computer & Structure Vol.21 No.6, pp 1095-1104.
- [8]. R.A. Ibrahim (2009). Vibro-Impact Dynamics. Model. Map. & Appl., LNACM 43, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 217–232.
- [9]. Steven C. Chapra, Raymond P. Canale (1998). Numerical Methods for Engineers. Mc Graw-Hill International Edition.

(BBT nhận bài: .../.../2014, phản biện xong: .../.../2014))

Thông tin về tác giả

	<p>PGS.TS. Nguyễn Xuân Toàn</p> <ul style="list-style-type: none">- Tóm tắt quá trình đào tạo:<ul style="list-style-type: none">- Được cấp bằng ĐH năm 1990, ngành Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng- Được cấp bằng ThS năm 1998, ngành Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng- Được cấp bằng TS năm 2008, ngành Cơ học kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng- Giảng viên Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng từ năm 1990 đến nay;- Lĩnh vực quan tâm: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới trong xây dựng cầu nhịp lớn, cơ học ứng dụng, dao động tuyến tính và phi tuyến của cầu nhịp lớn;- Điện thoại: 0973779988
	<p>ThS. Nguyễn Đức Hoàng</p> <ul style="list-style-type: none">- Tóm tắt quá trình đào tạo:<ul style="list-style-type: none">- Được cấp bằng ĐH năm 2003, ngành Xây dựng Cầu đường, trường Đại học Kỹ Thuật - Đại học Đà Nẵng- Được cấp bằng ThS năm 2013, ngành Xây dựng Công trình Thủy, Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQĐ.- Giảng viên Trường Đại học Duy Tân;- Lĩnh vực quan tâm: Nghiên cứu về dao động của kết cấu công trình Cầu đường và Thủy lợi;- Điện thoại: 0905475478