PHÂN TÍCH TỐI ƯU KẾT CẤU CẦU DẪN CHO TÀU KHÁCH HAI THÂN

OPTIMAL BRIDGE DECK STRUCTURES ANALYSIS OF CATAMARAN PASSENGER FERRY

Vũ Ngọc Bích, Đỗ Hùng Chiến
Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh,
vubich@ut.edu.vn

***Tóm tắt**: Kết cấu cầu dẫn tàu hai thân đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ bền ngang thân tàu. Trong thiết kế và tính toán kết cấu, thông thường người thiết kế dựa vào các công thức thực nghiệm gần đúng hoặc theo hướng dẫn của quy phạm, tiêu chuẩn quốc gia. Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các phương pháp số, phân tích hiện đại với sự trợ giúp của máy tính, các kết cấu phức tạp đã dần được tối ưu, giúp thân tàu trở nên nhẹ hơn, tốc độ cải thiện hơn và sức chở tăng lên. Bài báo này tập trung nghiên cứu lý thuyết tối ưu áp dụng vào thiết kế kết cấu cầu dẫn cho tàu khách hai thân. Kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng rộng rãi cho các chủng loại tàu tương tự.*

***Từ khóa**: Tối ưu, kết cấu cầu dẫn, tàu hai thân, phân tích phần tử hữu hạn, độ bền kết cấu tàu.*

***Chỉ số phân loại**: 2.1*

***Abstract**: The bridge deck structures play an important role in transverse strength of ship structures. In ship structural design, the designer often bases on experiment formulae or under the guider of classification society. Nowadays, with the strong development of numerical method and advanced computer analysis technique, the complicated structures are optimal analyzed, reducing the hull weight, increasing the ship speed and improving the deadweight. The present paper focuses on studying optimal theory in design the bridge deck of catamaran passenger ships. The obtained results are widely applied in similar ship types.*

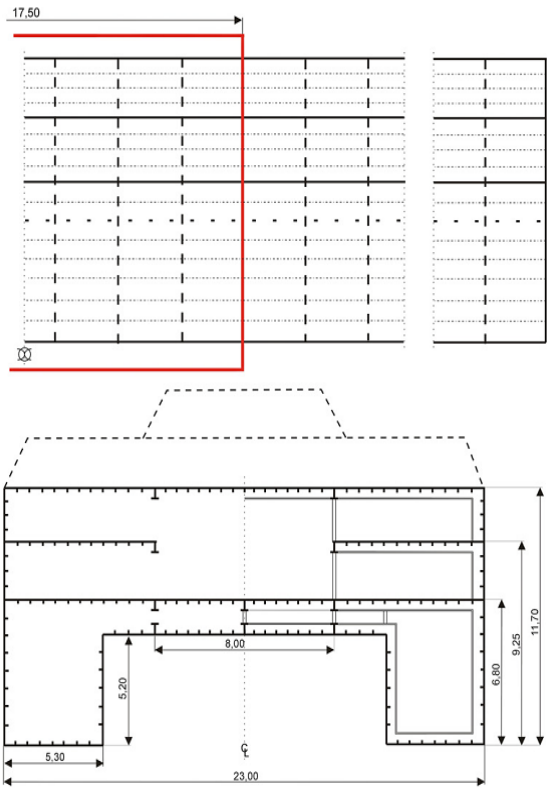
***Keywords**: Optimization, bridge deck structures, catamaran, finite element analysis, strength of ship structures.*

***Classification number**: 2.1*

1. Giới thiệu

Tàu hai thân với hình dáng kết cấu đặc trưng, được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp vận tải thủy, đặc biệt là vận tải hành khách. Ưu điểm nổi bật của loại tàu này là có diện tích mặt boong rộng, giảm sức cản và tăng khả năng cân bằng và ổn định ngang. Trên thế giới xuất hiện ngày càng nhiều hình thức kết cấu khác nhau, tuy nhiên vẫn có nét chung đó là hai thân vỏ kích thước giống nhau được nối với nhau bởi một cầu nối trên boong (hình 1).

Chính việc bố trí kết cấu này giúp cho các nhà thiết kế giải tỏa những lo âu khi cần không gian trên boong nhằm bố trí chỗ ngồi hành khách sao cho thật sự thoải mái và rộng rãi. Đi kèm với những ưu điểm này là thách thức khi phân tích tính toán cho độ bền cục bộ dàn boong, trong đó đặc biệt quan tâm đến độ bền ngang của kết cấu cầu dẫn hai thân. Đây cũng là chủ đề được nhiều nhà khoa học trong lĩnh vực phân tích kết cấu tàu quan tâm.



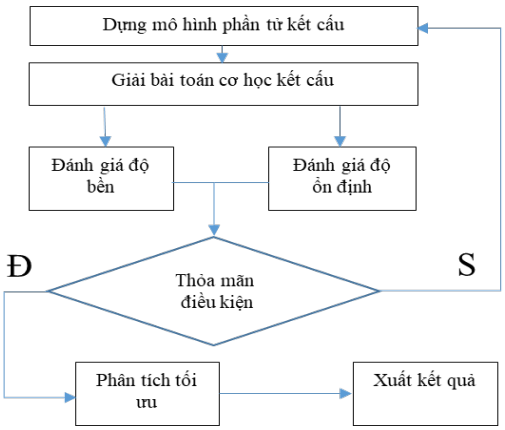
***Hình 1**. Bố trí cầu dẫn tàu hai thân.*

Với kết cấu ngang, nối giữa hai thân tàu, cầu nối chịu tải trọng boong, thời tiết, nước hắt từ phần nằm dưới cầu nối khi chuyển động, tải trọng hành khách, hàng hóa trên boong là nguyên nhân gây ra uốn tàu. Bên cạnh đó, khi thân tàu chạy trên sóng, hai thân khác nhau sẽ có mớn nước khác nhau, dẫn tới kết cấu cầu nối sẽ bị xoắn. Bài toán phân tích kết cấu cầu nối đã được giải quyết bằng cách tính toán theo phương pháp cổ điển, trên cơ sở sử dụng lý thuyết uốn, xoắn dầm trong các tài liệu về cơ học kết cấu tàu thủy và sức bền tàu thủy tồn tại đến ngày nay [1 - 3].

Cùng với sự phát triển của các công cụ tính toán hiện đại và khả năng xử lý các bài toán cơ học phức tạp, người thiết kế hiện nay có thể vừa phân tích kết cấu, vừa có thể kết hợp tối ưu hóa kết cấu. Phương pháp phần tử hữu hạn ra đời đưa ngành Cơ học phân tích bước sang trang mới, bên cạnh đó, các thuật toán tối ưu kết cấu như tối ưu hình học Topology, di truyền (Genetic Algorimth), … đã hỗ trợ mạnh mẽ cho giai đoạn nghiên cứu phát triển các hình thái kết cấu sáng tạo, ngoài quy chuẩn, quy phạm [4, 5].

Bài báo này tập trung giải quyết vấn đề phân tích độ bền kết cấu cầu dẫn phà khách hai thân, ứng dụng thuật toán tối ưu kết cấu giúp người thiết kế có giải pháp gia cường những vùng yếu, đảm bảo an toàn trong vận hành khai thác về phương diện độ bền ngang và độ bền cục bộ. Các kết quả nhận được từ mô hình tính toán, trên cơ sở các hướng dẫn của đăng kiểm DnV – GL, kết hợp các công cụ phân tích kết cấu như ANSYS và công cụ giải bài toán tối ưu theo MATLAB [6 - 10].

2. Phương pháp nghiên cứu

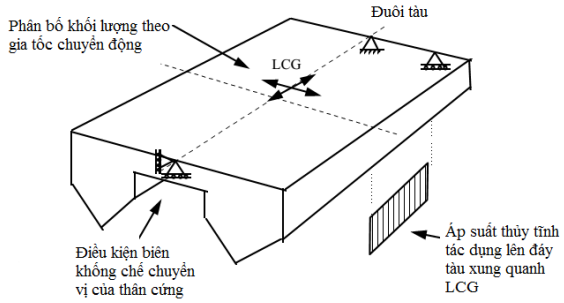


Hình 2. *Sơ đồ thuật toán tối ưu kết cấu cầu dẫn.*

Trên cơ sở phân tích độ bền kết cấu toàn bộ cầu dẫn của phà khách hai thân, kết quả cho biết những vùng nguy hiểm, tập trung ứng suất hay độ võng lớn, bên cạnh đó lại có những vùng kết cấu dư bền nhiều. Tiến hành tối ưu vùng kết cấu, với trọng lượng cầu dẫn nhỏ nhất nhưng các vùng đảm bảo bền (hình 2).

3. Phân tích độ bền kết cấu tàu hai thân

Kết cấu thân tàu chịu các trạng thái tải trọng phức tạp, theo các tài liệu hướng dẫn tính toán hiện hành [4], sơ đồ tính toán bền chung được trình bày theo hình 3 dưới đây:



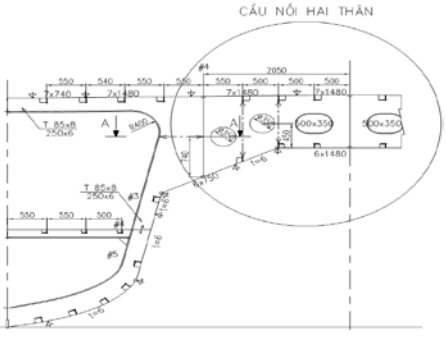
Hình 3. *Tính toán bền chung khi tàu trên đỉnh sóng.*

3.1. Mô hình phân tích

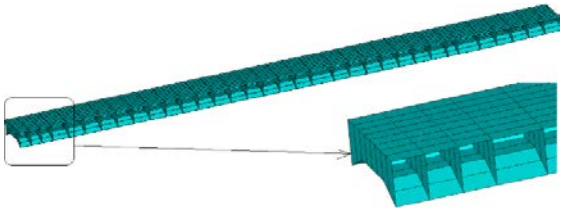
Bài báo sử dụng mô hình phà khách hai thân, với các thông số kết cấu cầu dẫn cơ bản được trình bày trong bảng 1. Kết cấu mặt cắt ngang cầu dẫn nối hai thân được trình bày chi tiết như trong hình 4. Trên cơ sở kết cấu cơ bản, tiến hành gán xây dựng mô hình 3D mô tả chi tiết kết cấu như hình 5.

Bảng 1. *Thông số cơ bản của cầu dẫn.*

Chiều dài cầu dẫn L_{CD}	55 (m)
Chiều rộng cầu dẫn B_{CD}	4,1 (m)
Chiều cao tiết diện dọc tâm H_{DT}	0,98 (m)
Chiều cao tiết diện biên H_B	1,5 (m)
Chiều dày tấm thành, tấm đáy t_1	6 (mm)
Chiều dày tấm boong t_2	7 (mm)
Vật liệu chế tạo	Thép A36

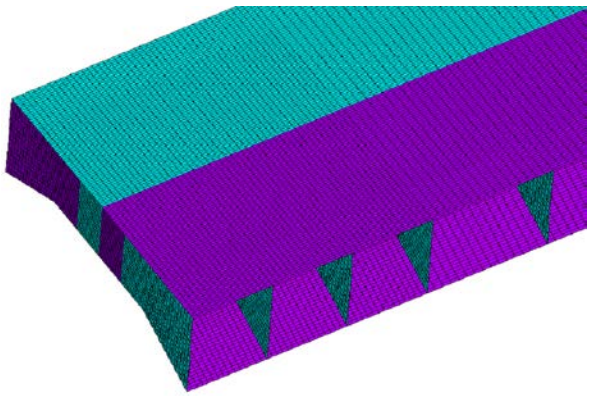


Hình 4. *Mặt cắt ngang kết cấu cầu dẫn hai thân*



***Hình 5**. Mô hình kết cấu cầu dẫn.*

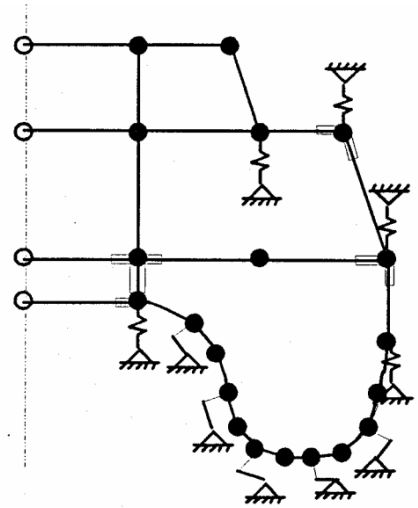
Tất cả các phần tử tấm vỏ được chia dạng tấm vỏ chữ nhật SHELL 181, các cơ cấu dầm được sử dụng loại phần tử hai nút, sáu bậc tự do BEAM 188, được thể hiện trên hình 6.



***Hình 6**. Mô hình chia lưới phần tử vùng tính toán.*

3.2. Phân tích điều kiện biên và tải trọng

Điều kiện biên áp dụng cho mô hình mặt cắt ngang tàu hai thân nói chung, coi các nút kết cấu là các gối đỡ đàn hồi, được thể hiện trên hình 7.



***Hình 7**. Điều kiện biên tính toán.*

Độ cứng của gối đỡ đàn hồi thông thường được xác định theo công thức (1) như sau:

$$K = \frac{E}{\frac{2,6(n+1)l}{8A_S}} \qquad (1)$$

Trong đó:

l: Khoảng cách giữa các vách ngang;

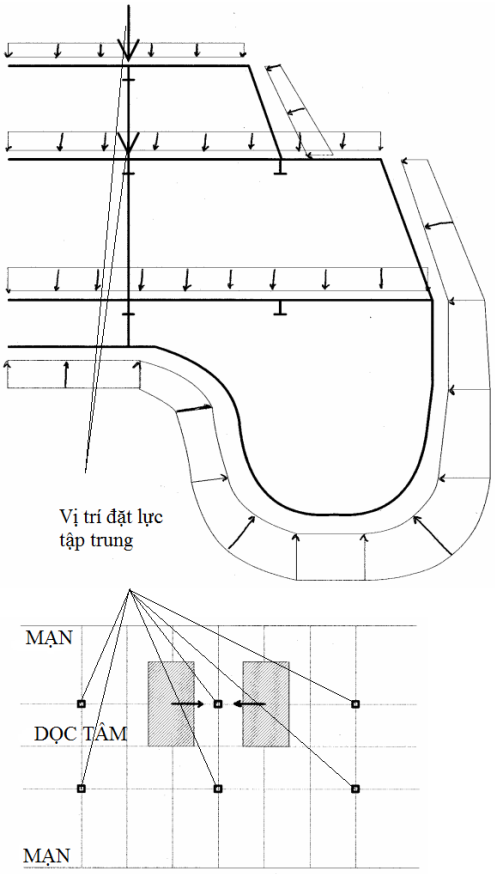
n: Số nút đặt tải tác dụng dọc theo kết cấu;

A_S: Diện tích chịu cắt của kết cấu.

Đối với các kết cấu khung ngang khỏe, khi được liên kết với sống dọc boong, sống dọc đáy hay vách dọc, độ cứng của gối đỡ đàn hồi được xác định theo công thức (2) sau:

$$K = \frac{E}{\frac{(n+1)l^3}{384I} + \frac{2,6(n+1)l}{8A_S}} \qquad (2)$$

Trong công thức này, I là mô men quán tính tiết diện mặt cắt ngang thực tế ứng với trục trung hòa của nó.



***Hình 8**. Sơ đồ tải trọng tác dụng lên tàu.*

Tải trọng tác dụng lên mô hình tàu cao tốc nói chung bao gồm trọng lượng bản thân, áp lực nước ngoài vỏ tàu, áp lực hành khách và hàng hóa, các trạng thái tải trọng phân tích được thể hiện như trên hình 8. Các trạng thái tải theo bảng 2. Như vậy, áp dụng cho tàu hai

thân, người thiết kế cần phân tích sáu trạng thái tải trọng từ LC 1 đến LC 6.

Bảng 2. *Các trạng thái tải áp dụng cho tàu cao tốc.*

Trạng thái	Tên trạng thái tải	Áp dụng
LC 1	Trên nước tĩnh	Một thân/ nhiều thân
LC 2	Uốn tàu khi vồng lên	Một thân/ nhiều thân
LC 3	Uốn tàu khi võng xuống	Một thân/ nhiều thân
LC 4	Lực tách ngang	Nhiều thân
LC 5	Xoắn tàu khi chúi	Một thân/ nhiều thân
LC 6	Uốn xoắn đồng thời	Nhiều thân

Bài báo phân tích bài toán cụ thể cho tính toán kết cấu cầu dẫn tàu hai thân, tập trung xác định vùng nguy hiểm theo tải trọng boong (kN/m^2) gán như hình 9, được tính toán theo công thức sau:

$$p_v = \rho H\left(g_0 + 0,5a_v\right) \quad (3)$$

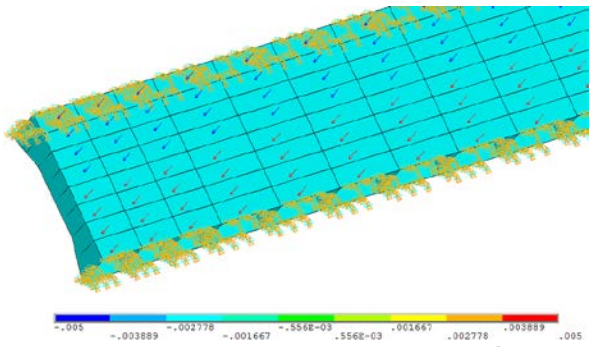
Trong đó:

ρ: Tỷ trọng của nước biển (t/m^3);

H: Chiều cao cột áp (m)p;

g_0: Gia tốc trọng trường (9,81 m/s^2);

a_v: Gia tốc chuyển động thẳng đứng của tàu (m/s^2).

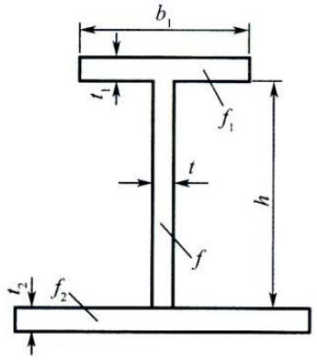


Hình 9. *Gán tải trọng boong tác dụng lên cầu dẫn.*

3.3. Thiết lập bài toán tối ưu kết cấu

Căn cứ vào giá trị mô men uốn, lực cắt nhận được từ mô hình phân tích trên đây, tiến hành xây dựng hàm mục tiêu xác định kích thước kết cấu mặt cắt ngang của cầu dẫn sao cho trọng lượng đạt nhỏ nhất, thỏa mãn điều kiện bền và ổn định. Tiết diện mặt cắt ngang cầu dẫn có dạng chữ I, được thể hiện cụ thể như hình 10. Hàm mục tiêu xác định kích thước tối ưu theo công thức (4):

$$F = ht + b_1t_1 \rightarrow \min \quad (4)$$



Hình 10. *Tiết diện mặt cắt ngang cầu dẫn.*

Các hàm ràng buộc phi tuyến được thiết lập từ các điều kiện phân tích, cụ thể như sau:

- Tiêu chuẩn bền uốn, hàm g_1:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \le \sigma_{all} \Rightarrow g_1 = \frac{M}{Z} - \sigma_{all} \le 0 \quad (5)$$

- Tiêu chuẩn bền cắt, hàm g_2:

$$\tau = \frac{S.A}{t.I} \le \tau_{all} \Rightarrow g_2 = \frac{S.A}{t.I} - \tau_{all} \le 0 \quad (6)$$

- Tiêu chuẩn ổn định, hàm g_3:

$$\frac{h}{t} \le m_0 \Rightarrow g_3 = \frac{h}{t} - m_0 \le 0 \quad (7)$$

- Tiêu chuẩn công nghệ, hàm g_4:

$$t \ge t_0 \Rightarrow g_4 = t_0 - t \le 0 \quad (8)$$

- Tiêu chuẩn ổn định cục bộ, hàm g_5:

$$\frac{b}{t_1} \le n_0 \Rightarrow g_5 = \frac{b}{t_1} - n_0 \le 0 \quad (9)$$

- Độ võng cho phép, hàm g_6:

$$d \le d_0 \Rightarrow g_6 = d - d_0 \le 0 \quad (10)$$

Trong đó:

σ: Ứng suất pháp;

τ: Ứng suất tiếp, chỉ số dưới *all* chỉ giá trị cho phép;

S: Mô men tĩnh diện tích mặt cắt,

A: Diện tích tiết diện;

t: Chiều dày bản thành;

h: Chiều cao bản thành;

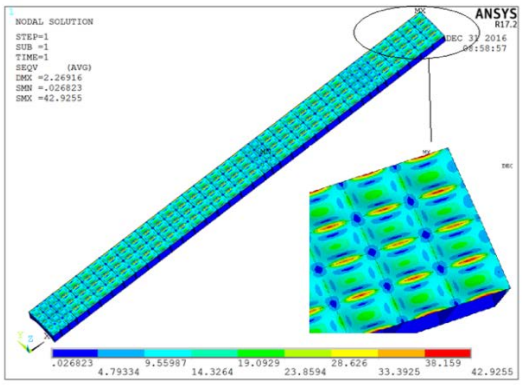
Các chỉ số *0* thể hiện tiêu chuẩn cho phép theo kinh nghiệm.

4. Kết quả và thảo luận

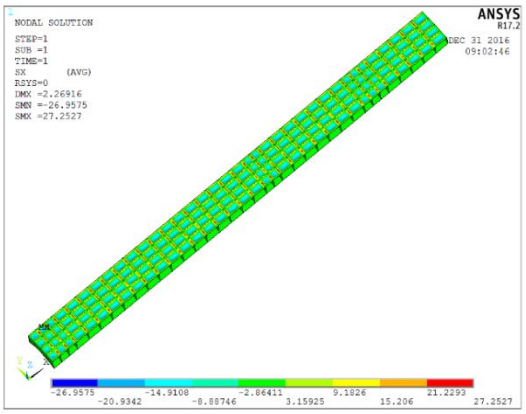
4.1. Ứng suất

Kết quả theo tính toán với trường hợp tải trọng boong tác dụng lên kết cấu cầu dẫn ở trang thái nguy hiểm nhất, giá trị nhận được

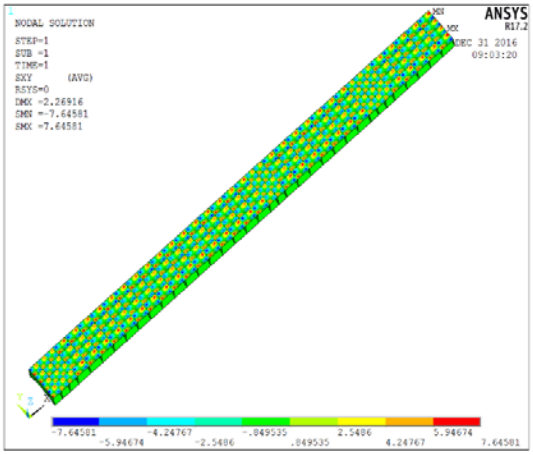
lớn nhất σ_{EQV} = 42,93 MPa, như hình 11, trong khi đó ứng suất pháp σ = 27,25 MPa (hình 12) và ứng suất tiếp τ = 7,65 MPa (hình 13).



***Hình 11**.Ứng suất von Mises trên mặt cầu dẫn.*



***Hình 12**.Ứng suất pháp trên mặt cầu dẫn.*

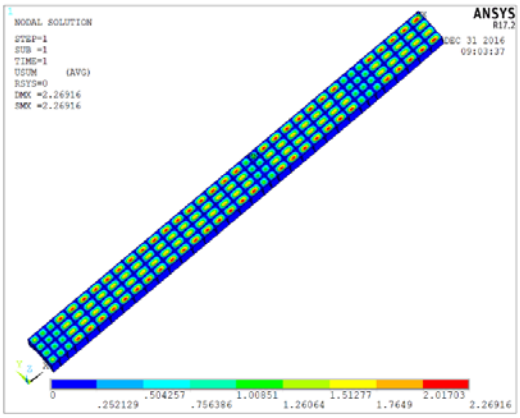


***Hình 13**.Ứng suất tiếp trên mặt cầu dẫn.*

4.2. Chuyển vị

Giá trị chuyển vị lớn nhất được xác định khi phân tích mô hình, d_{max} = 2,27 mm là nhỏ so với kết cấu chung toàn cầu dẫn (hình 14).

Các giá trị nội lực và chuyển vị là dữ liệu đầu vào cho bài toán tối ưu, trên cơ sở các hàm đã thiết lập từ g_1 đến g_6 (công thức (5) đến (10)), dùng hàm ràng buộc tối thiểu Fmincon trong MATLAB, chúng ta nhận được kết quả tối ưu.



***Hình 14**.Chuyển vị trên mặt cầu dẫn*

5. Kết luận

Bài báo này tập trung phân tích độ bền kết cấu cầu dẫn, xây dựng mô hình tính toán tối ưu kết cấu dựa trên các công cụ hỗ trợ hiện đại. Sử dụng ANSYS để phân tích kết cấu và MATLAB để chạy thuật toán tối ưu có sử dụng hàm Fmincon. Phương pháp nghiên cứu này có thể mở rộng áp dụng cho kết cấu các công trình tương tự, giúp người thiết kế và phân tích kết cấu nhanh chóng đưa ra giải pháp tối ưu, giảm trọng lượng con tàu, nâng cao hiệu quả kinh tế ❑

Tài liệu tham khảo

[1] Trần Công Nghị, 2009, "*Sức bền tàu thủy*", ĐHQG Tp.HCM

[2] Alaa Mansour, Donald Liu, (2008), "*Strength of Ships and Ocean Structures*", SNAME

[3] Mohamed Shama, 2013,"*Buckling of Ship Strutures*", Springer

[4] DnV, 1996, "*Strength Analysis of Hull Structure of High Speed and Light Craft*"

[5] Owen F.Hughes and Jeom Kee Paik, 2010, "*Ship Structural Analysis and Design*", SNAME

[6] ANSYS Inc., 2013, "*ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide*" 2013.

[7] Vũ Quốc Anh, 2006, "*Tính kết cấu bằng phần mềm Ansys*", NXB Xây Dựng

[8] ZbigniewSekulski, 2009," *Least-weight topology and size optimization of high speed vehicle-passenger catamaran structure by genetic algorithm*", Marine Structures Volume 22, Issue 4, Pages 691-711

[9] ZbigniewSekulski, 2010. "*Multi-objective topology and size optimization of high-speed vehicle-passenger catamaran structure by genetic algorithm*", Volume 23, Issue 4, Pages 405-433.

[10] ISSC, 1988, 1991, 1994, 1997, 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015. *"ISSC committee IV.1: Design Principles and Criteria"*. In: Proceedings of the International Ship ad Offshore Structures Congress

Ngày nhận bài: 15/10/2018
Ngày chuyển phản biện: 18/10/2018
Ngày hoàn thành sửa bài: 8/11/2018
Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2018