

NGHIÊN CỨU SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA MÔ MEN UỐN TRÊN NƯỚC TĨNH ĐẾN ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA CƠ CẤU THUỘC DÀN BOONG TÀU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

A STUDY ON THE EFFECT OF STILL WATER BENDING MOMENT ON BUCKLING OF DECK CONSTRUCTION USING FINITE ELEMENT METHOD

VŨ TUẤN ANH*, ĐOÀN VĂN TUYỀN

Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: anhvt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu độ ổn định của các cơ cấu thuộc dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Đầu tiên bài báo đưa ra cơ sở lý thuyết về việc xuất hiện tải trọng nén tác dụng lên cơ cấu dàn boong tàu thủy khi thân tàu trên nước tĩnh. Sau đó trình bày cơ sở lý thuyết để tính toán độ ổn định của các kết cấu dàn boong. Sơ đồ tổng quan về quy trình thực hiện một bài toán phân tích kết cấu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cũng được trình bày. Từ đó ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để nghiên cứu tính toán ổn định kết cấu thuộc dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn tàu trên nước tĩnh ở các trạng thái tải trọng khai thác khác nhau. Bài báo cũng đưa ra cơ sở đánh giá độ chính xác của kết quả tính toán thông qua nghiên cứu độ hội tụ của lưới khi tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: Finite Element Method (FEM), độ bền thân tàu, kết cấu thân tàu, ổn định kết cấu.

Abstract

The paper presents the results of the study on the buckling of the structures of the deck of a ship under the effect of bending moment on still water applying the finite element method. In the beginning, the paper presents the theoretical basis for the appearance of compressive load acting on the deck structure of a ship being on still water. Subsequently, the theoretical basis for calculating the stability of the deck structures is presented. An overview diagram of the procedure for performing a structural analysis problem using the finite element method is also presented. Based on the above theories, the finite element method will be applied to study the calculation of the stability of the structure of the deck of a ship under the effect

of bending moment on static water at different operating load states. The paper also provides the basis for evaluating the accuracy of the calculation results through studying the convergence of the mesh when calculating using the finite element method.

Keywords: Finite Element Method (FEM), Hull girder strength, hull structures, structure buckling, Eigenvalues analysis.

1. Đặt vấn đề

Mất ổn định là sự biến dạng đột ngột của một kết cấu chịu tải nén, xảy ra khi tải nén trong kết cấu đạt đến giá trị tới hạn.

Mất ổn định thường xảy ra đột ngột và có thể tạo ra các biến dạng lớn. Tuy rằng không phải lúc nào mất ổn định kết cấu cũng dẫn đến sự phá hủy hoặc nứt gãy của vật liệu, nhưng mất ổn định vẫn được coi là một dạng phá hủy vì các kết cấu khi bị mất ổn định sẽ không còn khả năng chịu tải trọng theo thiết kế ban đầu, khả năng làm việc và độ tin cậy của kết cấu đều bị giảm đi đáng kể. Vì vậy việc kiểm tra ổn định của các kết cấu nói chung và đặc biệt là kết cấu trên tàu nói riêng là hết sức quan trọng trong quá trình thiết kế tàu để đảm bảo an toàn cho con người và hàng hóa trong toàn bộ quá trình khai thác tàu.

Việc nghiên cứu ổn định cho kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn cũng đã được một số tác giả tiến hành. Tác giả Xinyi He [1] cùng các cộng sự đã nghiên cứu về ổn định cho tấm được gia cường bằng thép mô dưới tác dụng của lực nén thuần túy bằng phương pháp thực nghiệm và phương pháp số kết hợp. Nhóm các tác giả Xiangshao Kong cũng đưa ra nghiên cứu về độ ổn định động của kết cấu dàn boong điển hình chịu tác dụng của tải trọng nằm trong cùng mặt phẳng boong [2]. Các tác giả S. Kleppe, A.Aalberg, M.Langseth, Ø. Fyllingen [3] đưa ra một nghiên cứu hết sức thú vị về ổn định cho sàn nhôm của công trình ngoài khơi được làm từ hình chữ T ngược và một boong sàn có kết cấu hệ thống ngang. Trong nghiên

cứu họ tiến hành thí nghiệm uốn thực tế, sau đó mô phỏng lại bằng FEM để kiểm tra lại tính chính xác của tính toán.

Các công trình nghiên cứu của một số tác giả nêu trên là nguồn tham khảo bổ ích cho nhóm tác giả trong việc nghiên cứu độ ổn định của kết cấu dàn boong trên tàu thủy. Bài báo này, trên cơ sở kế thừa các kết quả nghiên cứu đi trước, sẽ tiến hành mô phỏng tính toán ổn định kết cấu dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh.

Trong quá trình khai thác, các kết cấu thân tàu luôn chịu tác động của cùng lúc rất nhiều tải trọng khác nhau. Các tải trọng tác động lên thân tàu có thể chia làm hai thành phần chính là tải trọng tĩnh và tải trọng động. Tải trọng tĩnh chủ yếu được tạo nên bởi sự chênh lệch về phân bố các thành phần khối lượng cũng như phân bố lực nổi dọc theo chiều dài tàu. Tải trọng động bao gồm các lực thủy động do sóng gây ra, hiện tượng slamming, tải trọng quán tính do chuyển động của tàu và tải trọng va chạm [4]. Trong giới hạn của bài báo này sẽ chỉ xét đến tác động của tải trọng tĩnh gây uốn dọc chung thân tàu.

Khi tàu đặt trên nước tĩnh, do sự phân bố không đồng đều của các khối lượng trên tàu (hàng hóa, khối lượng kết cấu,...) cùng với sự thay đổi của lực nổi do sự thay đổi của diện tích ngâm nước của các mặt cắt dọc theo chiều dài tàu đã tạo thành mô men uốn trên nước tĩnh, từ đó gây nên hiện tượng uốn dọc chung thân tàu trên nước tĩnh. Khi chịu uốn, tàu có thể uốn vòng lên (hogging), hoặc uốn xuống (sagging). Khi xảy ra hiện tượng sagging, phần kết cấu boong tàu sẽ chịu nén và kết cấu đáy sẽ chịu kéo [5]. Khi tải trọng nén đạt đến giá trị lực tới hạn thì có thể xảy ra hiện tượng phá hỏng cơ cấu boong do mất ổn định. Ngay cả khi cơ cấu không bị phá hủy hoàn toàn do mất ổn định, nhưng khả năng chịu tải của các kết cấu này cũng sẽ bị giảm đáng kể, gây mất an toàn trong quá trình khai thác tàu.

Xuất phát từ vấn đề nêu trên, bài báo này sẽ mô phỏng tính toán độ ổn định cho kết cấu dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.

2. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp phân tích Eigenvalue được ứng dụng để giải bài toán tính toán độ ổn định cho các kết cấu [6]:

$$([K_e] + \lambda_i [K_s])\{\psi_i\} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

$[K_e]$ - Ma trận độ cứng đàn hồi;

λ_i - Hệ số Eigenvalue;

$[K_s]$ - Ma trận độ cứng ứng suất;

ψ_i - Vec tơ Eigen.

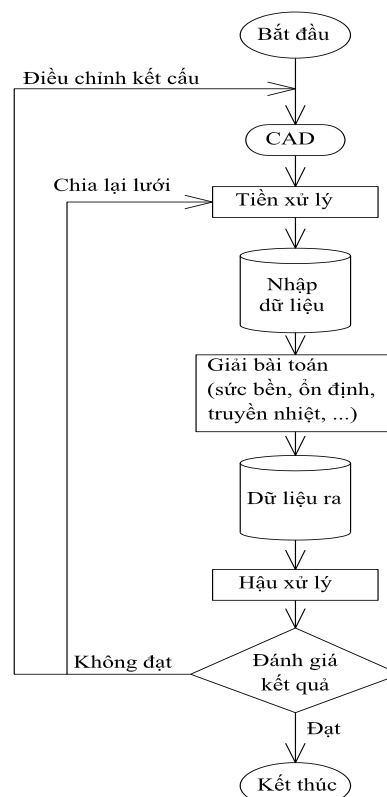
Giá trị của $[K_e]$, $[K_s]$ nhận được từ bài toán phân tích tải trọng tĩnh tác dụng lên kết cấu vùng boong. Thông qua phân tích Eigenvalue sẽ tính được giá trị của λ_i và ψ_i . Giá trị λ_i còn gọi là hệ số nhân tải trọng, khi nhân hệ số này với tải trọng tác dụng sẽ nhận được giá trị của lực tới hạn như trình bày trong công thức (2) dưới đây.

$$P_{th} = \lambda_i F \quad (2)$$

Với F - tải trọng nén tác dụng lên kết cấu.

Một kết cấu khi chịu tải trọng nén có thể bị mất ổn định theo một hoặc nhiều hướng khác nhau. Giá trị vec tơ ψ_i cho biết về hướng mà cơ cấu sẽ xảy ra mất ổn định với hệ số nhân tải trọng λ_i tương ứng. Tùy thuộc vào việc thiết lập dữ liệu đầu vào của bài toán, có thể kể đến là đặc trưng hình học mặt cắt của kết cấu chịu nén, vật liệu, tải trọng tác dụng, liên kết tại các nút, sẽ thu được giá trị λ_i khác nhau với mỗi giá trị ψ_i tương ứng.

Quy trình chung để giải một bài toán phân tích kết cấu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Quy trình phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn [7]

3. Mô phỏng số

3.1. Thông số tàu tính toán

Để áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn tính toán độ ổn định cho kết cấu dàn boong tàu thủy, nhóm tác giả lựa chọn tính toán dàn boong vùng khoang hàng số 2 của tàu chở hàng rời có trọng tải 4.500 tấn. Các kích thước và thông số chủ yếu của tàu lựa chọn được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số cơ bản của tàu

Thông số	Đơn vị	Tàu chở hàng rời (BC)
Trọng tải (DWT)	tấn	4.500
Chiều dài giữa hai trụ	m	83,85
Chiều rộng thiết kế	m	18,25
Chiều cao mạn	m	6,5
Mớn nước thiết kế	m	4,5
Hệ số béo thể tích		0,826

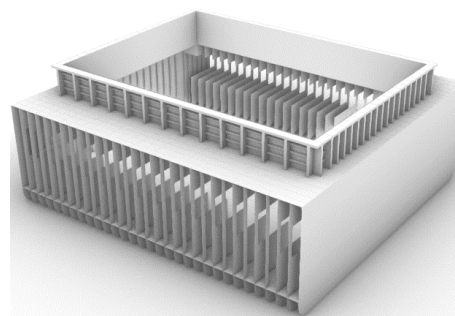
3.2. Các trường hợp tính toán

Để nghiên cứu độ ổn định của kết cấu dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh, tàu được tính ở 3 trạng thái tải trọng: Đầy tải, ballast và tàu không.

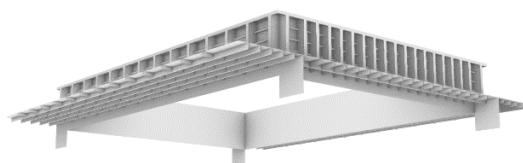
3.3. Thiết lập thông số mô phỏng

Các bước thiết lập chung trong bài toán mô phỏng tính toán kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn bao gồm: Mô phỏng kết cấu tính toán, thiết lập thông số về hình dáng (mặt cắt ngang, chiều dày kết cấu, vật liệu,...), lựa chọn loại phần tử lưới và chia lưới, thiết lập điều kiện biên và các tải trọng tính toán, lựa chọn mô hình tính toán.

Trong Hình 3, Hình 4 biểu diễn việc mô phỏng kết cấu thuộc vùng khoang hàng tàu hàng rời trọng tải 4.500 tấn.



Hình 3. Mô hình kết cấu khoang hàng



Hình 4. Mô hình kết cấu dàn boong

Dàn boong tàu thủy có kết cấu tấm được gia cường bởi hệ dầm giao nhau (sống boong, xà boong,...) vì vậy việc tính toán ổn định sẽ được tính cho cả kết cấu dạng tấm và kết cấu dạng dầm.

Lựa chọn loại phần tử tứ giác để chia lưới tính toán cho các phần tử trong bài toán phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Tải trọng tính toán trong bài toán bao gồm lực nổi, khối lượng kết cấu thân tàu và hàng hóa trong khoang (cho trường hợp tàu đầy tải). Các tải trọng này gây nên mô men uốn thân tàu trên nước tĩnh.

Hai vách đầu cuối khoang có kết cấu vững chắc vì vậy được coi như ngàm cứng.

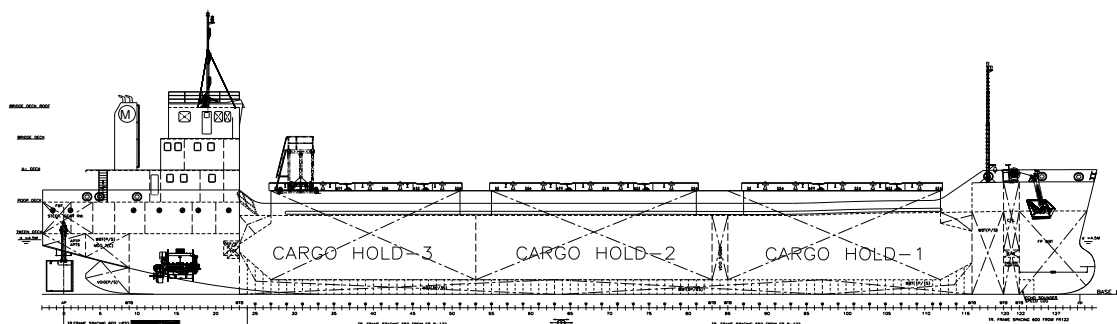
Quá trình thiết lập điều kiện biên của bài toán được trình bày trong Hình 5.

A, B: Ngàm cứng;

C: Trọng lượng bản thân;

D: Áp lực hàng hóa;

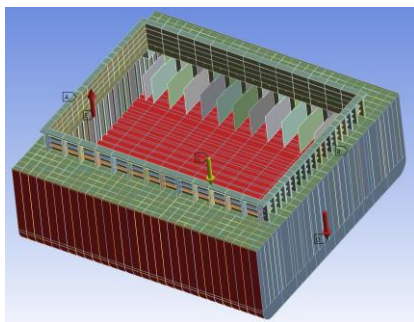
E: Áp lực thủy tĩnh của nước ngoài mạn.



Hình 2. Bố trí chung tàu hàng 4.500 tấn

Trong bài báo, phương pháp phân tích Eigenvalue được lựa chọn sử dụng trong mô hình tính toán ổn định kết cấu. Phương pháp này được áp dụng cho bài toán tuyến tính, vật liệu chế tạo kết cấu làm việc trong miền đàn hồi, lực tác dụng lên kết cấu là lực tĩnh.

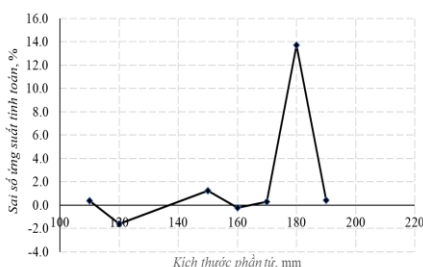
Nhóm tác giả lựa chọn ứng dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng tính toán ổn định cho kết cấu dàn boong.



Hình 5. Điều kiện biên tính toán

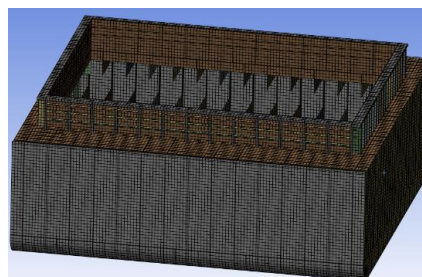
4. Kết quả mô phỏng

Bước đầu tiên trong bài toán phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn chính là nghiên cứu độ hội tụ của lưới. Về lý thuyết khi lưới được chia càng mịn, kích thước các phần tử càng nhỏ thì độ chính xác của kết quả tính toán sẽ càng cao [8]. Nhưng điều này cũng sẽ gây tốn tài nguyên máy tính sử dụng để tính toán, làm cho thời gian tính toán tăng lên đáng kể. Vì vậy việc nghiên cứu độ hội tụ của lưới rất quan trọng trong bài toán phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Khi kích thước của các phần tử giảm dần đến một giá trị nhất định, tại đó khi kích thước lưới tiếp tục giảm đi nhưng chênh lệch kết quả tính toán không đáng kể, giá trị này được gọi là điểm hội tụ của lưới. Giá trị nhận được của bài toán tại điểm hội tụ chính là kết quả của bài toán.



Hình 6. Độ hội tụ của lưới

Từ đồ thị Hình 6 có thể thấy tại điểm có kích thước phần tử 170 mm, khi tiếp tục giảm kích thước phần tử đi thì giá trị sai số ứng suất tính toán thay đổi không đáng kể, vì vậy chọn điểm này là điểm hội tụ của lưới.



Hình 7. Mô hình chia lưới khoang hàng

Kết quả mô phỏng tính toán được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng tính toán độ ổn định kết cấu dàn boong tàu thủy

Trạng thái	σ_{max} (MPa)	δ_{max} (mm)	λ
Đầy tải	24,50	0,64	8,97
Ballast	14,11	0,87	11,58
Tàu không	13,94	0,82	15,74

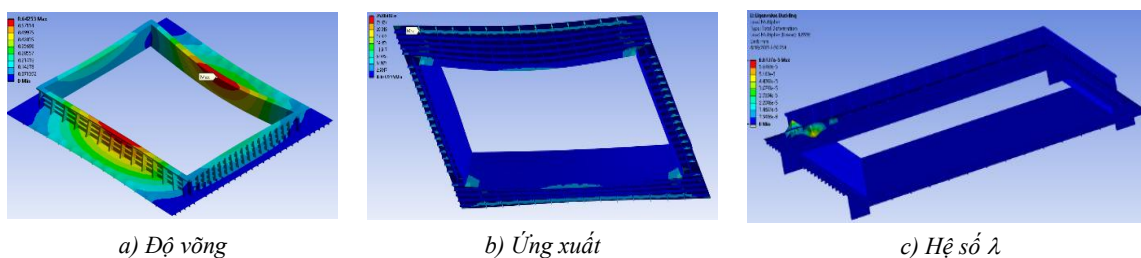
Ở đây giá trị của ứng suất lớn nhất và độ võng lớn nhất thu được trong bài toán phân tích tĩnh kết cấu. Trong bài toán mô phỏng tính toán ổn định cho kết cấu giá trị hệ số nhân tải trọng λ sẽ được tính toán, hệ số này cho ta biết được giá trị lực tối hạn lớn hơn giá trị tải trọng làm việc thiết kế bao nhiêu lần. Điều đó có nghĩa nếu $\lambda < 1$ thì kết cấu được thiết kế bị mất ổn định dưới tác dụng của tải trọng làm việc thiết kế. Cần phải đưa ra những phương án điều chỉnh kết cấu cho hợp lý để đảm bảo an toàn của kết cấu trong quá trình khai thác.

Trong Hình 8, Hình 9 và Hình 10 trình bày kết quả mô phỏng tính toán kiểm tra ổn định cho cơ cấu thuộc dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh.

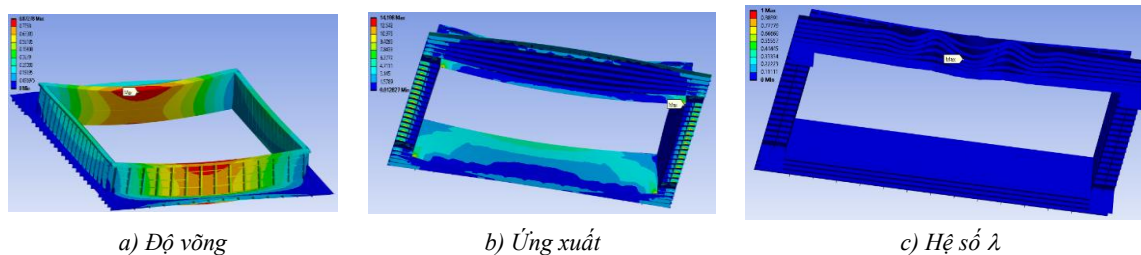
Kết quả tính toán cho thấy việc thay đổi trạng thái tải trọng cũng sẽ có tác động thay đổi đến độ ổn định kết cấu dàn boong, ở trạng thái đầy tải, khối lượng hàng hóa lớn tác dụng lên dàn đáy có xu hướng kéo tàu võng xuống, điều này làm cho kết cấu vùng boong chịu tải trọng nén lớn hơn nên giá trị λ giảm xuống rõ rệt so với trạng thái tàu không, cũng có nghĩa là giá trị lực tác dụng lên kết cấu tiến gần hơn đến giá trị của lực giới hạn, lượng dự trữ ổn định cho kết cấu vùng boong giảm mạnh.

5. Kết luận

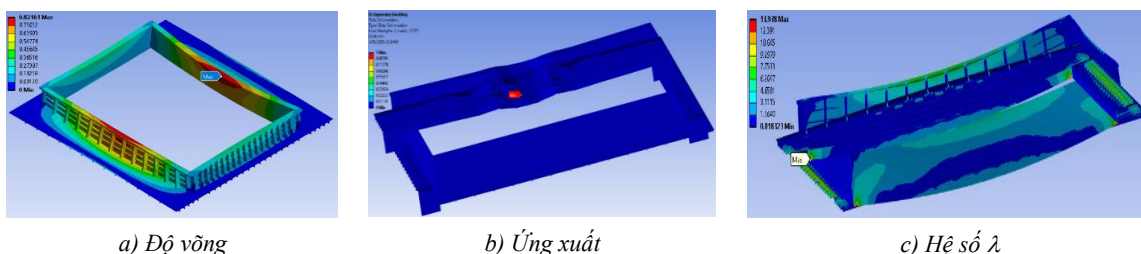
Bài báo đã thành công trong việc ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn vào nghiên cứu ảnh hưởng của mô men uốn trên nước tĩnh đến độ ổn định của cơ cấu dàn boong tàu thủy. Các kết quả thu được như sau:



Hình 8. Kết quả tính toán trạng thái đầy tải



Hình 9. Kết quả tính toán trạng thái ballast



Hình 10. Kết quả tính toán trạng thái tàu không

- Đã trình bày được cơ sở lý thuyết để tính toán độ ổn định của cơ cấu boong tàu thủy.

- Đã mô phỏng tính toán ổn định kết cấu dàn boong tàu thủy dưới tác dụng của mô men uốn trên nước tĩnh cho tàu ở 3 trạng thái tải trọng khác nhau: Đầy tải, ballast và tàu không.

- Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho việc nghiên cứu sâu hơn về các hư hỏng có thể xảy ra với kết cấu tàu thủy trong quá trình khai thác.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT24-25.33.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Xinyi He, Chong Wu, Rengui Wang, Leyong Wei, Chao Jiang (2023), *Buckling behavior of orthotropic steel deck stiffened by slender bulb flats for large span bridge*, Thin-Walled Structure, Vol.188.
- [2] Xiangshao Kong, Hongchang Zhou, Cheng Zheng, Zhiyong Pei, Tian Yuan, Weiguo Wu (2021), *Research on the dynamic buckling of a typical deck grillage structure subjected to in-plane impact Load*, Marine Structures, Vol.78.
- [3] S. Kleppe, A. Aalberg, M. Langseth, Ø. Fyllingen (2024), *Buckling behavior of a transversely stiffened aluminum beam flange*, Ocean Engineering, Vol.307.
- [4] Mohamed Shama (2013), *Buckling of Ship Structures*, Springer.
- [5] D. J. Eyres, G. J. Bruce (2012), *Ship Construction*, Elsevier Ltd.
- [6] Daryl L. Logan (2017), *A First Course in the Finite Element Method*, Cengage Learning.
- [7] Yasuhisa Okumoto, Yu Takeda, Masaki Mano, Tetsuo Okada (2009), *Design of ship hull structure*, Springer.
- [8] Huei-Huang Lee (2023), *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2023*, SDC Publication.

Ngày nhận bài:	06/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	19/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	24/04/2025
Ngày duyệt đăng:	24/04/2025