



Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng mô men gia thêm góp phần nâng cao tính ổn định trong điều khiển tàu biển Application of CFD to simulate the added moment for enhancing stability in navigation

Phạm Nguyễn Đăng Khoa¹, Phạm Kỳ Quang^{2,*}

¹Nhóm nghiên cứu PATET, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

²Viện Đào tạo chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Từ khóa:

Mô men gia thêm
Ổn định tàu biển
Điều khiển tàu biển
An toàn hàng hải
CFD

TÓM TẮT

Khi tàu biển thay đổi hướng chuyển động, tức hướng đi của tàu, phân bố áp suất tác động lên hai phía của bánh lái sẽ không đối xứng, tạo ra áp lực dư do khối chất lỏng tác động lên bánh lái, từ đó tạo ra thành phần mô men gia thêm. Mục tiêu nghiên cứu tập trung tính toán thành phần mô men gia thêm tác động lên tàu biển khi thay đổi hướng chuyển động. Để thực hiện mục tiêu này, bài báo sử dụng phương pháp tính toán mô phỏng CFD mô hình đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude với tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, tỷ lệ đồng dạng hình học $k = 100$. Kết quả tính toán cho thấy: Trường hợp đặc trưng khi vận tốc mô hình tàu lớn nhất, $V_m = 0,75$ m/s, hướng chuyển động thay đổi lớn nhất $HT = 030^\circ$, khi đó mô men gia thêm mô hình tàu đạt giá trị lớn nhất $M_{gmax} = 32,15 \times 10^3$ N.m. Kết quả nghiên cứu giúp Thuyền trưởng, hoa tiêu, sỹ quan hàng hải có cơ sở khoa học áp dụng thực tiễn với đối tượng cụ thể là tàu thật, đang vận hành khai thác, nâng cao tính ổn định trong điều khiển tàu biển, đặc biệt khi tàu biển vận chuyển hàng rời, hàng nguy hiểm, hàng gỗ, khi tính ổn định của tàu dễ bị ảnh hưởng trực tiếp từ mô men gia thêm.

Keywords:

Added moment
Ship stability
Navigation
Maritime safety
Computational Fluid Dynamics

ABSTRACT

When a ship alters its course, the pressure distribution acting on the two sides of the rudder becomes asymmetrical, creating a resultant fluid force on the rudder that is resolved into two components: the steering force and the drag force. This study focuses on calculating the added moment using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations on a geometrically similar model of the M/V TAN CANG FOUNDATION, with a geometric scale ratio of $k = 100$. The results show that, in the characteristic case with the maximum model velocity $V_m = 0.75$ m/s and the largest heading change $HT = 030^\circ$, the added moment reaches its maximum value of $M_{gmax} = 32.15 \times 10^3$ N.m The research findings provide a scientific basis to support Master, pilots, and deck officers enhance stability in ship handling, thereby contributing to maritime safety, particularly for vessels carrying bulk cargo, hazardous goods, or timber, whose stability is more directly affected by the added moment.

* Phạm Kỳ Quang. Viện Đào tạo chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: phamkyquang@vamaru.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140510>

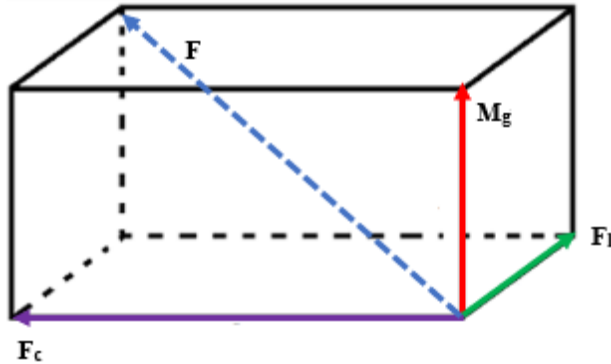
Ngày nhận bài: 21/08/2025; Ngày nhận bài sửa: .../.../2025; Ngày chấp nhận đăng: 30/08/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/09/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Đặt vấn đề

Khi tàu biển thay đổi hướng chuyển động, trong quá trình điều động, phân bố áp suất tác động lên hai phía mạn tàu, sẽ không đối xứng, xuất hiện lực gia thêm (F) và chia làm các thành phần lực gia thêm như thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Phân tích thành phần lực gia thêm F khi tàu biển thay đổi hướng chuyển động.

Chiếu thành phần lực gia thêm F lên mặt phẳng nằm ngang, theo chiều thẳng trục dọc tàu biển, nhận được: Lực cản (F_c), lực ly tâm (F_i) và mô men gia thêm (M_g). Mô men gia thêm được tạo ra khi lực F chiếu phương thẳng đứng và lệch khỏi trục dọc tàu biển một cánh tay đòn (d).

Liên quan đến vấn đề nghiên cứu: Năm 2012 trong công trình công bố của nhóm tác giả [1], thuộc trường Massachusetts (Mỹ) đã công bố kết quả nghiên cứu về ứng dụng CFD để tính toán lực cản vỏ tàu. Năm 2012, trong công trình công bố của tác giả [2], thuộc Trường Đại học Victoria (Anh), đưa ra kết quả nghiên cứu bằng ứng dụng CFD, đồng thời nghiên cứu thực nghiệm để so sánh và kiểm chứng trên cùng mô hình tàu 3D, kết quả độ chênh lệch lớn nhất 10,16%. Năm 2015, công trình của nhóm tác giả [3], đã công bố kết quả xung quanh bài toán động lực học bao quanh vỏ tàu. Năm 2016, công trình của nhóm tác giả [9], đã công bố công trình khoa học liên quan đến xác định sức cản tàu container bằng phương pháp mô phỏng số. Năm 2016 - 2020, các công trình của nhóm tác giả [4], [6], [7], [8], [10], [11], [12], Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh, đã công bố kết quả nghiên cứu ảnh hưởng động lực học dòng chảy bao đến lực cản tàu thủy, đồng thời so sánh,

đánh giá với kết quả nghiên cứu thực nghiệm, trong quá trình thay đổi hướng chuyển động.

Mặt khác, trong giai đoạn 2021 - 2025, trong các công trình của nhóm tác giả [5], [13], [14], [15], Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh, tiếp tục công bố kết quả nghiên cứu về ứng dụng CFD tính toán mô phỏng, kết hợp nghiên cứu thực nghiệm liên quan đến động lực học dòng chảy bao, lực gia thêm, lực bẻ lái tàu thủy, khi thay đổi hướng chuyển động hay thay đổi góc bẻ lái.

Tuy nhiên, trong bài báo này, một mặt nhóm tác giả phân tích và kế thừa kết quả đã đạt được từ các công trình công bố trước đó. Mặt khác, đã nghiên cứu tính toán mô phỏng riêng giá trị mô men gia thêm khi tàu thay đổi hướng chuyển động, khi điều động tàu biển. Với mục tiêu và phạm vi nghiên cứu, thực hiện trên cơ sở sử dụng dữ liệu theo mô hình đồng dạng Froude với tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, tỷ lệ đồng dạng hình học $k = 100$ [5], [7], [8], cụ thể:

Vận tốc tàu mô hình được đồng dạng theo thông số từ hồ sơ của tàu thật (V_m):

$$V_m = \{0,45; 0,55; 0,65; 0,75\}, \text{ (m/s).}$$

Hướng chuyển động của tàu thay đổi (HT):

$$HT = \{000^\circ, 010^\circ, 020^\circ, 030^\circ\}, \text{ (độ).}$$

2. Phương pháp nghiên cứu

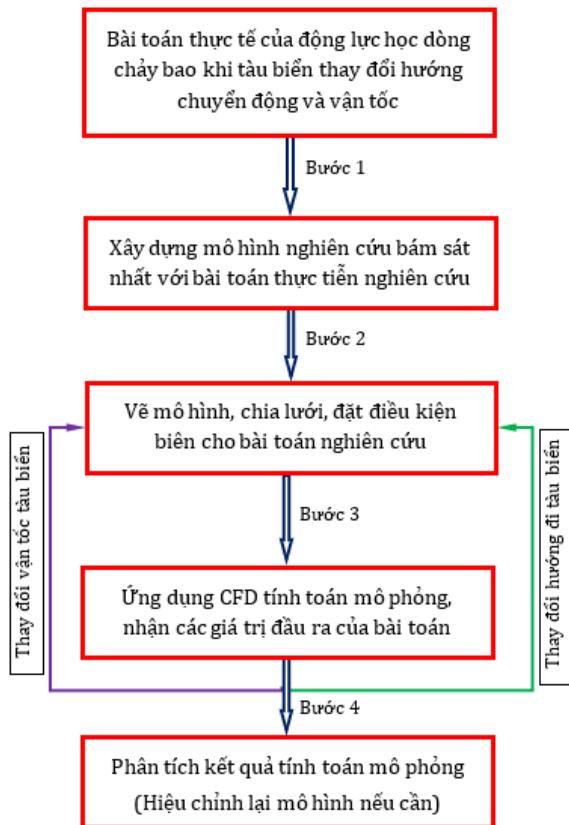
Giới hạn điều kiện biên:

Dữ liệu đầu vào: Dữ liệu tính toán mô phỏng bằng CFD được dựa trên dữ liệu theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude, tỷ lệ đồng dạng hình học $k = 100$, của tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, gồm 04 giá trị vận tốc V_m (m/s), đã đồng dạng theo thông số từ hồ sơ của tàu thực M/V TAN CANG FOUNDATION và 04 giá trị hướng chuyển động thay đổi HT. Do đó, tương ứng việc tính toán mô phỏng với 16 trường hợp khác nhau.

Kết quả nhận được tại đầu ra: Phân bố lực hai bên mạn tàu tại phần chìm dưới nước, theo hướng các trục O_x , O_y , O_z , khi thay đổi hướng chuyển động và vận tốc của tàu biển.

Quy trình cụ thể ứng dụng CFD áp dụng bài toán động lực học dòng chảy bao, khi tàu biển thay đổi

hướng chuyển động và vận tốc với các bước được mô tả theo hình 2 [5], [7], [8].



Hình 2. Quy trình ứng dụng CFD tính toán mô phỏng động lực học dòng chảy bao khí tàu biển thay đổi hướng chuyển động và vận tốc.

- **Bước 1: Xây dựng mô hình nghiên cứu.** Mô hình hóa bài toán thực tế, bám sát thực tiễn bài toán. Có thể xây dựng mô hình đồng dạng đảm bảo tỷ lệ đồng dạng với thực tế, đặc điểm chính của bài toán được mô hình hóa bám sát thực tế nhất. Bước này được khảo sát kỹ, quyết định đến độ tin cậy và độ chính xác của kết quả nghiên cứu.

- **Bước 2: Vẽ mô hình, chia lưới và đặt điều kiện biên.** Vẽ mô hình có thể sử dụng phần mềm chuyên dụng như: Solidwork, Inventor, Gambit,... Việc chia lưới mô hình là vấn đề quan trọng, quyết định đến sai số tính toán mô phỏng, khối lượng tính toán, tốc độ tính toán, có tính đến kích thước miền tính toán. Độ chính xác của bài toán phụ thuộc rất nhiều vào vấn đề chia lưới, tiêu chuẩn hội tụ, đặc biệt với điều kiện biên khá phức tạp của bài toán.

- **Bước 3: Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng,** từ đó cho kết quả nhận được tại đầu ra theo mục đích nghiên cứu của bài toán. Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng động lực học dòng chảy bao, đảm bảo lựa chọn hợp lý mô hình tính toán mô phỏng, kỹ

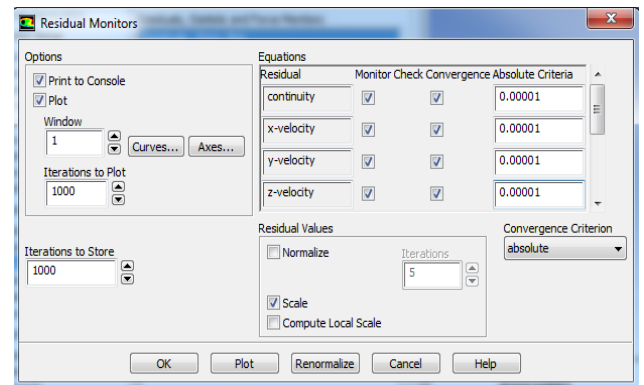
thuật giải, điều kiện cho vòng tính toán, tiêu chuẩn hội tụ phù hợp. Kết quả nhận được, như: Phân bố lực hai bên mạn tàu tại phần chìm dưới nước, theo hướng các trục, trường vận tốc, mô men, áp suất, phân bố pha, phần trăm pha, phân bố áp suất, hệ số áp suất, ... phục vụ phân tích và đánh giá kết quả.

- **Bước 4: Phân tích cụ thể kết quả nhận được theo đối tượng tính toán cụ thể.** Có thể đề xuất hoặc khuyến nghị đối với khoa học chuyên ngành. Trường hợp cần thiết có thể hiệu chỉnh lại kết quả, đảm bảo bám sát thực tiễn, như: So sánh với kết quả có độ chính xác, độ tin cậy cao từ công trình khác đã công bố trước đó, so sánh với kết quả nghiên cứu thực nghiệm, hay tính toán bằng công thức thực nghiệm, hay kết quả khảo sát thực tế,...

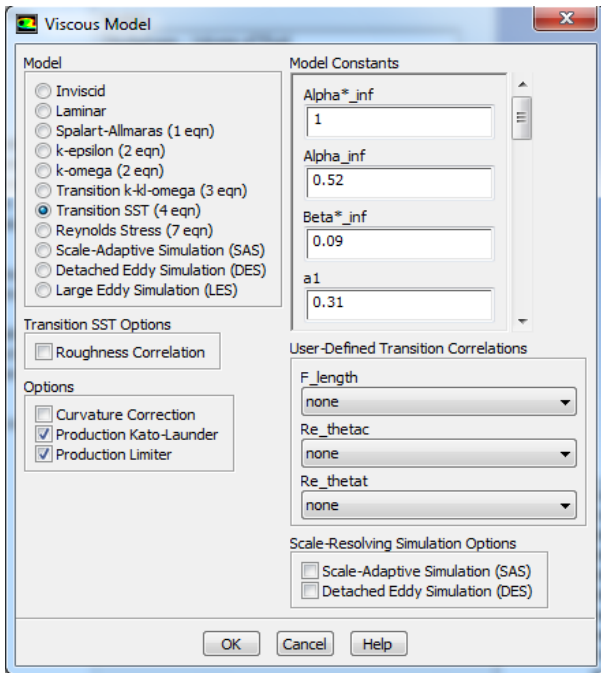
Khi thay đổi thông số liên quan, thực hiện vẽ lại mô hình, chia lưới và đặt điều kiện biên cho phù hợp thực tiễn, thực hiện từ bước 2 trở đi.

3. Tính toán mô phỏng lực mô men gia thêm tàu biển bằng CFD

Khi thực hiện toán mô phỏng mô men gia thêm tàu biển bằng CFD với Fluent - Ansys, một số cửa sổ chính nhận được, bao gồm lựa chọn kỹ thuật giải, mô hình SST, và trạng thái tính toán cùng tiêu chuẩn hội tụ như mô tả theo hình 3, hình 4 và hình 5 [7], [8].



Hình 3. Hiển thị cửa sổ lựa chọn kỹ thuật giải.

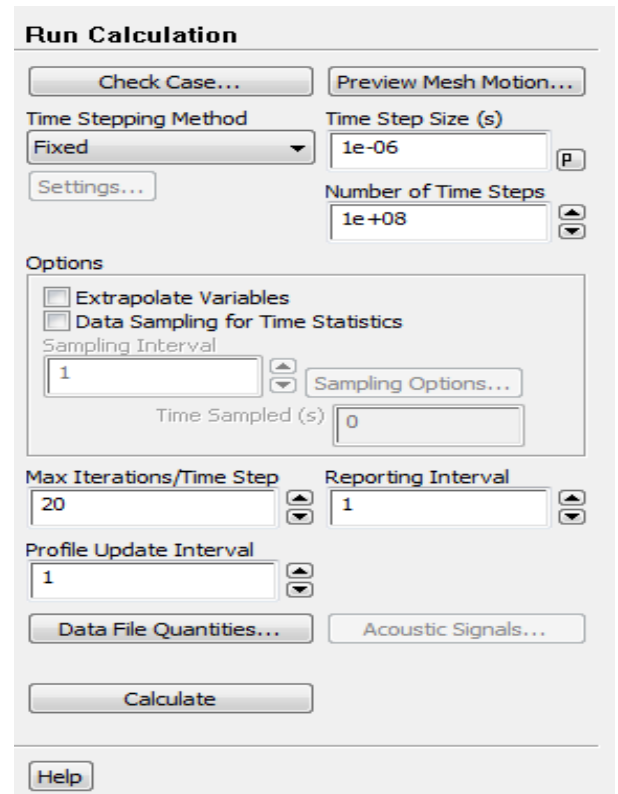
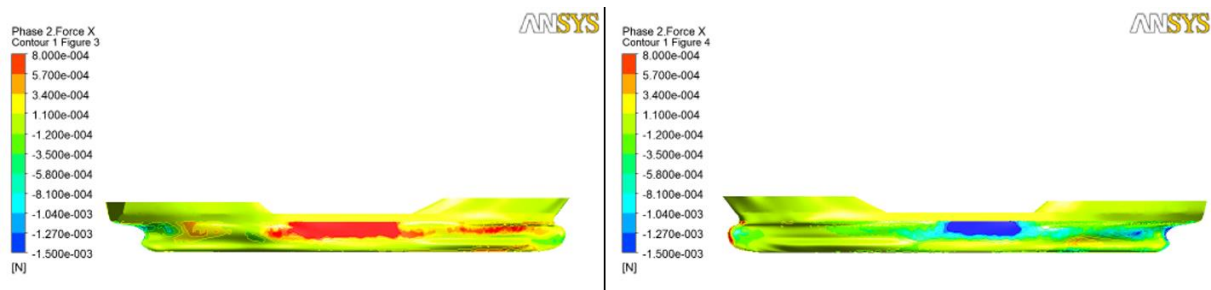


Hình 4. Cửa sổ thể hiện sự lựa chọn mô hình tính toán SST.

Kết quả tính toán mô phỏng phân bố lực hai bên mạn phải và mạn trái vỏ tàu phần chìm dưới nước và theo hướng các trục O_x , O_y , O_z , khi thay đổi hướng chuyển động và vận tốc của tàu. Từ đó, nhận được kết quả xác định mô men tác động vỏ tàu theo hướng các trục tương ứng [7], [8].

Xét trường hợp khi thay đổi hướng chuyển động lớn nhất $HT = 030^\circ$, và vận tốc tàu lớn nhất $V_t = 0,75$ m/s, đây là trường hợp đặc trưng, tính chất ổn định có nhiều rủi ro hơn, kết quả mô phỏng phân bố lực được minh họa cụ thể theo hình 6. Hoàn toàn tương tự, nhận được kết quả của các trường hợp còn lại.

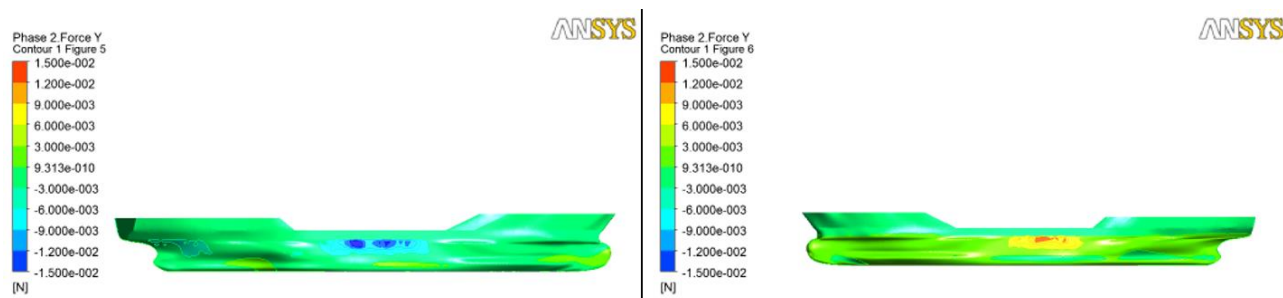
a)



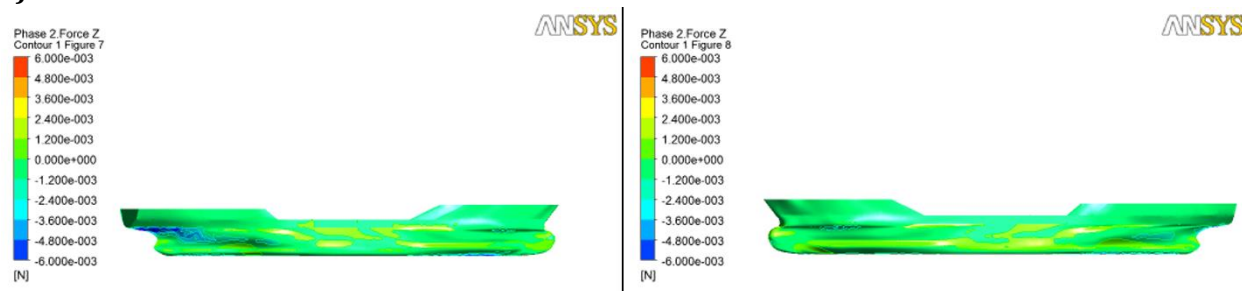
Hình 5. Hiển thị cửa sổ trạng thái tính toán và tiêu chuẩn hội tụ.

Khi tàu thay đổi hướng chuyển động, trường hợp rõ nhất khi thay đổi hướng chuyển động lớn, tức là góc bẻ lái lớn, sẽ tạo ra mô men gia thêm quay quanh trục dọc tàu và ảnh hưởng trực tiếp tới tính ổn định của tàu biển, trường hợp giá trị mô men lớn, đặc biệt có thể gây lật.

b)



c)



Hình 6. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố lực mạn phải và mạn trái vỏ tàu. (a) Theo hướng trục Ox phần chìm dưới nước mạn phải và mạn trái, (b) Theo hướng trục Oy phần chìm dưới nước mạn phải và mạn trái, (c) Theo hướng trục Oz phần chìm dưới nước mạn phải và mạn trái.

Cụ thể, xét trường hợp hướng chuyển động của kết quả tính toán mô phỏng bằng CFD nhận được giá trị mô men gia thêm được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp giá trị mô men gia thêm khi hướng HT = 030° và vận tốc thay đổi.

Vận tốc tàu mô hình, (Vm), (m/s)	0,45	0,55	0,65	0,75
Mô men gia thêm, (N.m)	0,27.10 ³	7,02.10 ³	18,14.10 ³	32,15.10 ³

Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng mô men gia thêm bằng CFD, trên tàu mô hình đồng dạng tàu thật của các trường hợp thay đổi hướng chuyển động và vận tốc của tàu được tổng hợp trong Bảng 2.

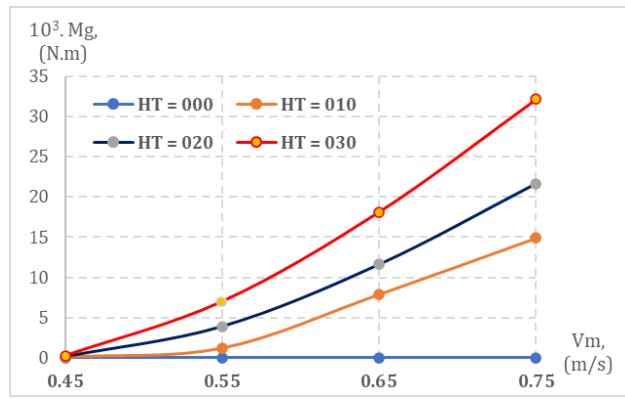
Bảng 2. Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng mô men gia thêm của các trường hợp.

Vận tốc tàu mô hình, (Vm), (m/s)	0,45	0,55	0,65	0,75
HT = 000°	0	0	0	0
HT = 010°	0,09.10 ³	1,2.10 ³	7,88.10 ³	14,89.10 ³
HT = 020°	0,15.10 ³	3,9.10 ³	11,59.10 ³	21,62.10 ³
HT = 030°	0,27.10 ³	7,02.10 ³	18,14.10 ³	32,15.10 ³

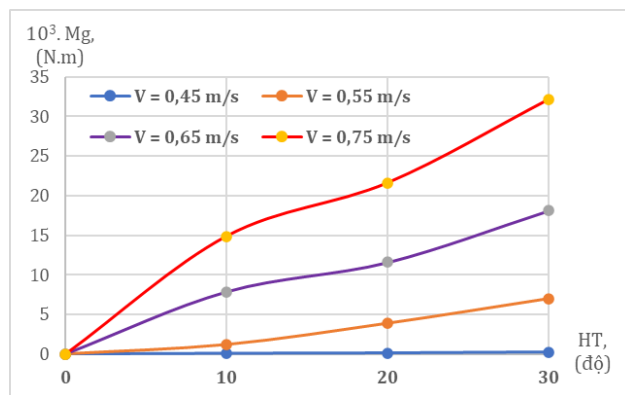
4. Kết quả tính toán mô phỏng và thảo luận

Từ kết quả tính toán mô phỏng mô men gia thêm được tổng hợp theo bảng 2, ta xây dựng đồ thị mô tả giá trị mô men gia thêm, khi thay đổi hướng chuyển

động và vận tốc mô hình tàu như được thể hiện theo hình 7 và hình 8.



Hình 7. Đồ thị mô tả mối quan hệ mô men gia thêm (M_g) và vận tốc tàu mô hình (V_m) khi tàu thay đổi hướng chuyển động tàu mô hình (HT).



Hình 8. Đồ thị mô tả mối quan hệ mô men gia thêm (M_g) và hướng chuyển động tàu mô hình (HT) khi tàu thay đổi vận tốc tàu mô hình (V_m).

Phân tích kết quả bảng 2, đồ thị hình 7 và hình 8, ta nhận xét rằng:

Cùng giá trị vận tốc mô hình V_m , khi tăng giá trị hướng chuyển động, mô men gia thêm của mô hình tàu sẽ tăng, cụ thể:

- Khi $V_m = 0,45$ m/s, $M_g = (0,27 - 0,09) \times 10^3$ N.m = $0,18 \times 10^3$ N.m;
- Khi $V_m = 0,55$ m/s, $M_g = (7,02 - 1,2) \times 10^3$ N.m = $5,82 \times 10^3$ N.m;
- Khi $V_m = 0,65$ m/s, $M_g = (18,14 - 7,88) \times 10^3$ N.m = $10,26 \times 10^3$ N.m;
- Khi $V_m = 0,75$ m/s, $M_g = (32,15 - 14,89) \times 10^3$ N.m = $17,26 \times 10^3$ N.m.

Cùng giá trị hướng chuyển động, khi tăng vận tốc mô hình tàu V_m , mô men gia thêm cũng tăng. Cụ thể khi vận tốc tàu mô hình thay đổi từ $V_m = 0,45$ m/s đến $V_m = 0,75$ m/s, kết quả như sau:

- Khi HT = 010°, $M_g = (14,89 - 0,09) \times 10^3$ N.m = $14,8 \times 10^3$ N.m;

- Khi HT = 020°, $M_g = (21,62 - 0,15) \times 10^3$ N.m = $21,47 \times 10^3$ N.m;
- Khi HT = 030°, $M_g = (32,15 - 0,27) \times 10^3$ N.m = $31,88 \times 10^3$ N.m.

Trường hợp khi vận tốc mô hình tàu lớn nhất, $V_m = 0,75$ m/s, hướng chuyển động thay đổi lớn nhất HT = 030°, khi đó mô men gia thêm mô hình tàu đạt giá trị lớn nhất:

$$M_g = M_{g_{\max}} = 32,15 \times 10^3 \text{ N.m.}$$

5. Kết luận

Bài báo tập trung nghiên cứu tính toán mô phỏng mô men gia thêm bằng chương trình CFD. Trên cơ sở kết quả cụ thể nhận được, là cơ sở lý luận khoa học có thể kết hợp với kết quả nghiên cứu thực nghiệm với tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, có thể mở rộng phương pháp luận nghiên cứu đối với chủng loại tàu khác nhau, trên các tuyến luồng hàng hải, hay khu vực khảo sát, để kiểm chứng độ chính xác, độ tin cậy kết quả nhận được.

Mặt khác, từ kết quả nhận được hoàn toàn có thể chuyển đổi giá trị mô men gia thêm của tàu mô hình sang giá trị tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude hoặc tương đối theo công thức thực nghiệm được thừa nhận và sử dụng rộng rãi.

Từ kết quả nhận được giúp Thuyền trưởng, hoa tiêu, sỹ quan hàng hải có cơ sở khoa học áp dụng thực tiễn với đối tượng cụ thể là tàu thật đang vận hành khai thác, nâng cao tính ổn định trong điều khiển tàu biển, góp phần bảo đảm an toàn hàng hải, đặc biệt khi tàu biển vận chuyển hàng rời, hàng nguy hiểm, hàng gỗ, khi tính ổn định của tàu dễ bị ảnh hưởng trực tiếp từ mô men gia thêm.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Phạm Nguyễn Đăng Khoa: Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Điều tra, Xác thực, Trực quan hóa, Tiếp nhận tài trợ, Viết - bản thảo gốc. **Phạm Kỳ Quang:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Điều tra, Phản hồi ý kiến phản biện.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ không được cung cấp theo yêu cầu.

1st Phạm Nguyên Đăng Khoa. *PATET Research Group, University of Transport Ho Chi Minh City*

2nd Phạm Kỳ Quang*. *School of Excellent Education, Vietnam Maritime University*

*Corresponding author:

phamkyquang@vamaru.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] P. Voxakis, "Ship hull resistance calculations using Computational Fluid Dynamics methods," M.S. thesis, Dept. Mech. Eng., Massachusetts Inst. Technol. (MIT), Cambridge, MA, USA, 2012. [Online]. Available: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/74895>.
- [2] B. Smoker, "Escort tug performance prediction: A CFD method," M.A.Sc. thesis, Univ. Victoria, Victoria, BC, Canada, 2012. [Online]. Available: https://dspace.library.uvic.ca/bitstream/handle/1828/4380/Smoker_Brendan_MASc_2012.pdf.
- [3] T. Tezdogan, Y. K. Demirel, P. Kellett, M. Khorasanchi, A. Incecik, and O. Turan, "Full-scale unsteady RANS CFD simulations of ship behaviour and performance in head seas due to slow steaming," *Ocean Eng.*, vol. 97, pp. 186–206, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.01.011.
- [4] K. Q. Pham et al., "Calculating simulation of the impact of additional forces on the vessel when altering the course," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 10, pp. 2778–2787, 2020.
- [5] Phạm Kỳ Quang (chủ biên), Cổ Tấn Anh Vũ, Phạm Nguyên Đăng Khoa, Võ Hồng Hải, *Ứng dụng CFD tính toán động lực học dòng chảy bao*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2025. ISBN 978-604-67-3223-5.
- [6] Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy (chủ biên), Cổ Tấn Anh Vũ, Phạm Nguyên Đăng Khoa và cộng sự, *Ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy tuyến luồng hàng hải*. Nhà xuất bản Hàng hải, Hải Phòng, 2020. ISBN 978-604-937-217-9.
- [7] Phạm Kỳ Quang (chủ biên), Vũ Văn Duy, Bùi Văn Cường, Cổ Tấn Anh Vũ, Nguyễn Thành Nhật Lai, *Ứng dụng CFD trong khoa học hàng hải*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2017. ISBN 978-604-67-0897-1.
- [8] Nguyễn Thành Nhật Lai, "Nghiên cứu ảnh hưởng động lực học dòng chảy bao đến lực cản tàu thủy trong quá trình thay đổi hướng chuyển động," Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh, 2020.
- [9] Lê Văn Toàn và Vũ Ngọc Bích, "Tính toán sức cản tàu container bằng phương pháp mô phỏng số," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, số 21, tr. 39–43, 11/2016.
- [10] Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy và Nguyễn Thành Nhật Lai, "Tính toán mô phỏng lực gia thêm tác động lên tàu thủy khi thay đổi hướng chuyển động," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, số 18, 02/2016.
- [11] Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy, Nguyễn Thành Nhật Lai và Phạm Nguyên Đăng Khoa, "Tính toán mô phỏng tác động của lực gia thêm đến tàu thủy," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, số 49, tr. 60–64, 01/2017.
- [12] Nguyễn Thành Nhật Lai và cộng sự, "Nghiên cứu thực nghiệm tác động dòng chảy đến tàu thủy trong quá trình thay đổi hướng chuyển động," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 09, 2019.
- [13] Phạm Kỳ Quang và Nguyễn Thành Nhật Lai, "Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng tác động của lực gia thêm đến tàu thủy theo mô hình 3D," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 12, tr. 123–126, 2021.
- [14] Phạm Kỳ Quang và Nguyễn Thành Nhật Lai, "Tính toán mô phỏng áp suất dòng chảy bao tác động đến tàu thủy khi thay đổi hướng chuyển động," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 01–02, tr. 85–88, 2022. ISSN 2354-0818.
- [15] Cổ Tấn Anh Vũ, Phạm Nguyên Đăng Khoa, Nguyễn Thanh Sơn và Phạm Kỳ Quang, "Tính toán lực bẻ lái tàu thủy bằng phương pháp CFD khi thay đổi góc bẻ lái," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 08, tr. 61–63, 2023.