



## Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng lực ly tâm gia thêm trong điều khiển tàu biển nhằm nâng cao an toàn hàng hải

## CFD application for simulating added centrifugal force in navigation to enhance maritime safety

Phạm Nguyễn Đăng Khoa<sup>1</sup>, Phạm Kỳ Quang<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Nhóm nghiên cứu PATET, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup> Viện Đào tạo chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**Từ khóa:** TÓM TẮT  
Lực ly tâm Trong quá trình điều động, tàu biển thường xuyên thay đổi hướng và vận tốc chuyển động. Đồng thời xuất hiện thành phần lực ly tâm gia thêm, ảnh hưởng đến khả năng điều khiển tàu biển. Mục tiêu nghiên cứu là tính toán mô phỏng thành phần lực ly tâm gia thêm xuất hiện trong quá trình điều khiển tàu biển. Bài báo sử dụng phương pháp CFD để tính toán mô phỏng mô hình đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude với tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, là tàu container, trọng tải 420 TEU, với tỷ lệ đồng dạng hình học  $k = 100$ . Kết quả tính toán mô phỏng nhận được với trường hợp đặc trưng nhất khi vận tốc mô hình tàu lớn nhất,  $V_m = 0,75$  m/s, hướng chuyển động thay đổi lớn nhất  $HT = 030^\circ$ , lực ly tâm mô hình tàu đạt giá trị là:  $F_l = 0,041 \times 10^3$  N. Kết quả nghiên cứu giúp Thuyền trưởng, hoa tiêu, sỹ quan hàng hải nâng cao an toàn hàng hải trong điều khiển tàu biển, khi thay đổi hướng và vận tốc tàu tại các khu vực hàng hải nguy hiểm, đoạn cong, khúc cua trên tuyến luồng hàng hải.

**Keywords:** ABSTRACT  
Centrifugal force During the maneuvering, the ship frequently undergoes variations in course and speed. Ship's course At the same time, there is an additional centrifugal force component that affects on the vessel's maneuverability and course-keeping performance. This study aims to Navigation numerically compute and simulate the additional centrifugal force component that Maritine safety arises during ship maneuvering. The study employs CFD (Computational Fluid Dynamics) techniques to simulate a geometrically scaled model based on Froude similarity criteria corresponding to the actual vessel M/V TAN CANG FOUNDATION, a 420 TEU container ship, with a geometric scale ratio of  $k = 100$ . The numerical results, obtained under the most representative condition, when the model ship attains its maximum velocity ( $V_m = 0.75$  m/s) and the heading alteration is  $HT = 030^\circ$ , indicate that the model-generated centrifugal force reaches  $F_l = 0.041 \times 10^3$  N. The research results help Masters, pilots, and deck officers to improve maritime safety in ship handling during course and speed alterations in high-risk maritime zones, particularly within curved and narrow channel sections.

\* Phạm Kỳ Quang. Viện Đào tạo chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam  
Email: [phamkyquang@vamaru.edu.vn](mailto:phamkyquang@vamaru.edu.vn)

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140601>

Ngày nhận bài: 21/08/2025; Ngày nộp bài sửa: 30/10/2025 ; Ngày chấp nhận đăng: 30/10/2025

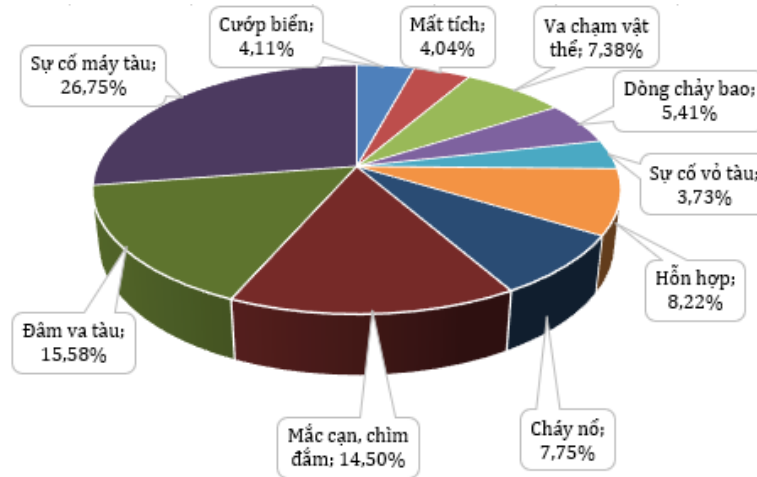
Ngày xuất bản trực tuyến: 15/11/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

## 1. Đặt vấn đề

Sự cố và tai nạn hàng hải, như va chạm, đâm va, thủng tàu, mắc cạn, mất tích, cướp biển, cháy nổ, tràn dầu,... tác động trực tiếp, sâu rộng đến hoạt động, khai thác hàng hải. Hiểu nguyên nhân và hậu quả của

tai nạn hàng hải là điều cần thiết để nâng cao an toàn, ngăn ngừa thảm họa và sớm khắc phục hậu quả. Theo số liệu báo cáo và thống kê [1], tỷ lệ trung bình sự cố hàng hải trên thế giới, giai đoạn 1990 - 2021, mô tả Hình 1 [1].



**Hình 1.** Tỷ lệ trung bình sự cố hàng hải trên thế giới, giai đoạn 1990 - 2021.

Từ kết quả Hình 1, nhận xét rằng: Bên cạnh nguyên nhân chính, sự cố và tai nạn hàng hải do ảnh hưởng trực tiếp của dòng chảy bao khi thay đổi hướng và tốc độ trong điều khiển tàu biển chiếm 5,41%, dẫn đến va chạm, đâm va, mắc cạn.

Bởi vì, khi tàu thay đổi hướng chuyển động, 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 và tồn tại lực cản (F). Nếu chiếu lực cản F lên mặt phẳng nằm ngang thẳng trục dọc tàu, sẽ nhận được các thành phần, gồm: Lực cản lực gia thêm, lực ly tâm gia thêm (Fl) và mô men gia thêm [6], [10], [15]. Như vậy, vấn đề nghiên cứu có ý nghĩa khoa học, thực tiễn, là mối quan tâm lớn của ngành hàng hải.

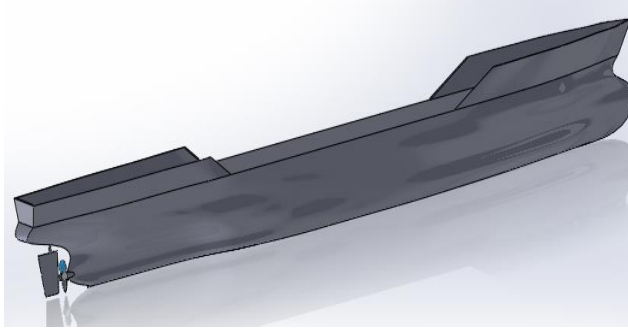
Liên quan đến vấn đề nghiên cứu, trong những năm gần đây, các công trình nghiên cứu liên quan đến ứng dụng CFD tính toán động lực học dòng chảy bao, có thể kể đến: Năm 2015, công trình [2], công bố kết quả xung quanh bài toán động lực học bao quanh vỏ tàu. Năm 2016, công trình [4], đã công bố công trình khoa học liên quan đến xác định sức cản tàu container bằng phương pháp mô phỏng số. Giai đoạn 2016 - 2020, các công trình [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [11], 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.

Giai đoạn 2021 - 2025, các công trình [10], [12], [13], [14], [15], [16], 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 và vận tốc tàu.

Trong bài báo này, nhóm tác giả tham khảo và kế thừa kết quả đã đạt được từ các công trình công bố trước đó. Đồng thời, nghiên cứu tính toán mô phỏng riêng giá trị lực ly tâm gia thêm khi tàu thay đổi hướng và tốc độ trong quá trình điều động tàu biển. 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  $k = 100$ , mô tả theo Hình 2 và Hình 3, với thông số kỹ thuật cơ bản theo Bảng 1 [1], [6], [8], [9], [17].



**Hình 2.** Tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION.



**Hình 3.** Kết quả mô phỏng mô hình tàu đồng dạng theo tiêu chuẩn với M/V TAN CANG FOUNDATION.

**Bảng 1.** Thông số kỹ thuật cơ bản của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION [17].

Các thông số kỹ thuật cơ bản	Giá trị
Chiều dài toàn bộ tàu (LOA)	112.50 m
Chiều dài giữa hai đường trung trục (LBP)	105.28 m
Chiều rộng tàu (B)	18.20 m
Chiều cao tàu (D)	8.70 m
Mớn nước tàu	6.70 m
Tổng trọng tải (DWT)	7040 MT
Tổng dung tích (GT)	4914
Dung tích tịnh (NT)	2306
Lượng dẫn nước	9486 MT
Khả năng chở container	420 TEU
Vận tốc trung bình	11 knots
Công suất máy chính	3420 KW x 200 rpm
Hô hiệu	3 WRO
Số IMO	9122332
Cảng đăng ký	Sài Gòn

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Giới hạn điều kiện biên:

Dữ liệu đầu vào: Bộ dữ liệu tính toán mô phỏng bằng phương pháp CFD, dựa trên dữ liệu đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude, tỷ lệ đồng dạng hình học  $k = 100$ , với tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, tương ứng 16 trường hợp tính toán mô phỏng bằng CFD, gồm 04 giá trị vận tốc  $V_m$  (m/s) 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 (độ), [1], [6], [8], [9], [16], [17], cụ thể:

Vận tốc tàu mô hình ( $V_m$ ):

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

Hướng chuyển động của tàu mô hình (HT):

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

Tiêu chuẩn đồng dạng Froude: Việc lựa chọn mô hình nghiên cứu được đồng dạng với bài toán thực theo tiêu chuẩn Froude, nghĩa là đảm bảo cùng số Froude, thỏa mãn (1) [1], [6], [8], [9].

$$F_n = \frac{V^2}{Lg} \quad (1)$$

Trong đó: L - chiều dài đặc trưng tính bằng đường kính chân vịt D (m); g - gia tốc trọng trường,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ; V - giá trị vận tốc tàu, (m/s).

Khi đó, các đại lượng cho mô hình được xác định như sau:

Vận tốc của tàu mô hình thỏa mãn (2):

$$(V_p)_m = (V_p)_t \sqrt{\frac{D_m}{D_t}} \quad (2)$$

Số vòng quay chân vịt tàu mô hình theo (3):

$$(n)_m = (n)_t \sqrt{\frac{D_t}{D_m}} \quad (3)$$

Trường hợp với chiều dài đặc trưng (L) được tính bằng chiều dài toàn bộ tàu (m), khi đó thỏa mãn (4):

$$\frac{(V_p)_t^2}{g_t L_t} = \frac{(V_p)_m^2}{g_m L_m}, \text{ với } g_t = g_m = g \quad (4)$$

Do đó, tương tự các đại lượng cho mô hình được xác định như sau:

Vận tốc của tàu mô hình theo (5):

$$(V_p)_m = (V_p)_t \sqrt{\frac{L_m}{L_t}} \quad (5)$$

Do kích thước, số liệu bài toán thực lớn, liên quan đến số ô lưới tính toán bằng phương pháp số, để phù hợp với cấu hình máy tính hiện tại, lựa chọn

trong các bài toán là:  $\frac{L_m}{L_t} = 0,001$  và nhận được phương trình thỏa mãn (6):

$$\frac{(L_m \cdot g_m)^{1/2}}{V_m} = \frac{(L_s \cdot g_s)^{1/2}}{V_s} \quad (6)$$

suy ra:  $\frac{V_s}{V_m} = \sqrt{k}$  và  $\frac{S_s}{S_m} = k^2$ ;

$$F_s = k^3 \times F_m \text{ và } M_s = k^4 \cdot M_m$$

$$k = \frac{L_s}{L_m} \quad (7)$$

Trong đó:  $F_s, M_s$  - lực tác động và mô men theo bài toán tàu thực;  $F_m, M_m$  - lực tác động và mô men của mô hình tàu nghiên cứu;  $k$  - hệ số đồng dạng hình học,  $k=100$ ;  $V_m, V_s$  - vận tốc mô hình tàu quy đổi, thỏa mãn (8):

$$V_m = \frac{V_s}{k^2} \quad (8)$$

Kết quả nhận được tại đầu ra: Giá trị vận tốc dòng chảy cho các trường hợp khác nhau và lực ly tâm gia thêm, khi thay đổi hướng chuyển động và vận tốc của tàu biển theo điều kiện biên.

Thực hiện quy trình ứng dụng CFD với Fluent-Ansys cho bài toán động lực học dòng chảy bao, khi tàu biển thay đổi hướng chuyển động và vận tốc, thường qua 04 bước cơ bản sau [1], [6], [10], [16].

- Bước 1: Xây dựng mô hình nghiên cứu, được thực hiện khảo sát kỹ, quyết định đến độ tin cậy và độ chính xác của kết quả nghiên cứu. Do đó đảm bảo bám sát thực tiễn bài toán;

- Bước 2: Vẽ mô hình, chia lưới và đặt điều kiện biên, có thể sử dụng phần mềm chuyên dụng như: Solidwork, Inventor, Gambit,... Mặt khác, việc chia lưới mô hình là vấn đề quan trọng, bởi vì độ chính xác của bài toán phụ thuộc rất nhiều vào vấn đề chia lưới, tiêu chuẩn hội tụ;

- 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;

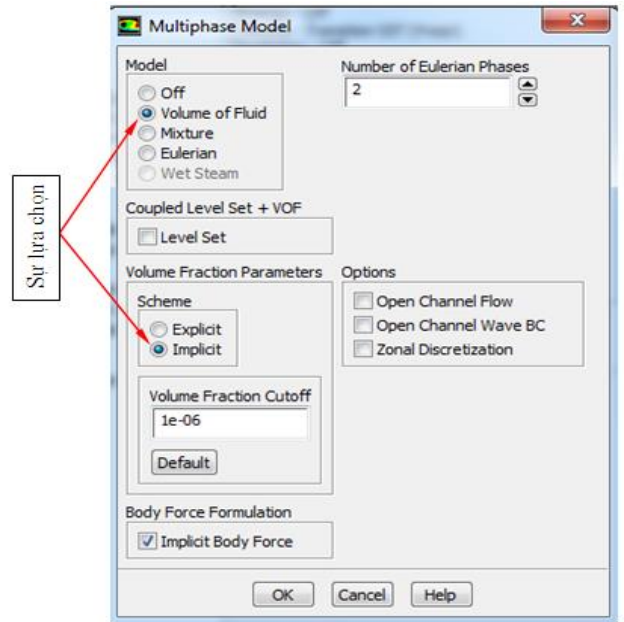
- Bước 4: Phân tích cụ thể kết quả nhận được theo đối tượng tính toán cụ thể. Có thể đề xuất hoặc khuyến nghị đối với khoa học chuyên ngành. Trường hợp cần thiết có thể hiệu chỉnh lại kết quả, đảm bảo bám sát thực tiễn.

Chú ý: 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.

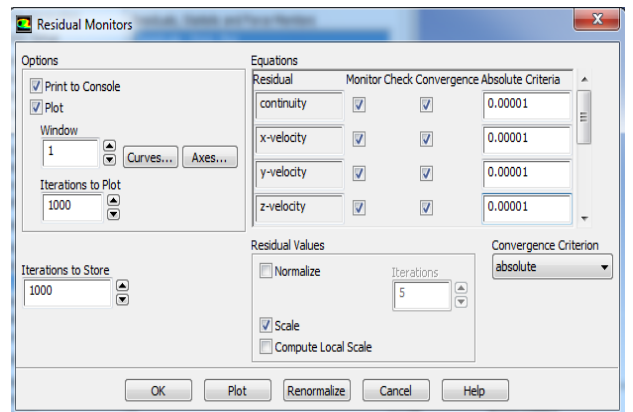
### 3. Tính toán mô phỏng lực ly tâm gia thêm tàu biển bằng CFD

Một số cửa sổ chính nhận được trong khi thực hiện toán mô phỏng lực ly tâm gia thêm tàu biển bằng CFD, gồm: Lựa chọn mô hình tính toán VOF (Volume of Fluid), lựa chọn kỹ thuật giải, trạng thái tính toán và tiêu chuẩn hội tụ, mô tả từ Hình 4 đến Hình 6.

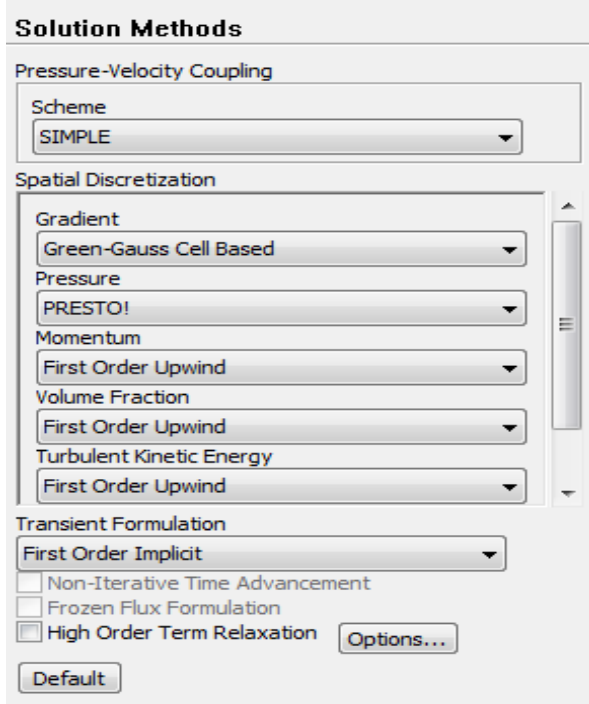
Kết quả tính toán mô phỏng chia lưới cho không gian tính toán theo giới hạn điều kiện biên, chỉ rõ các ô lưới có dạng tam giác, với tổng số 1,25 triệu ô lưới thu được, mô tả Hình 4 [1], [6], [8], [11].



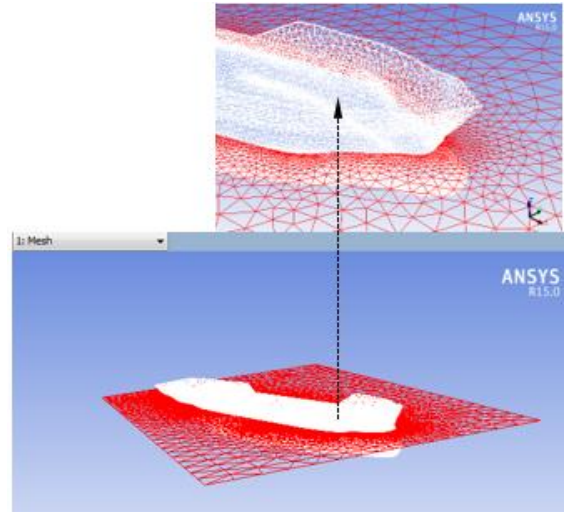
Hình 4. Cửa sổ lựa chọn mô hình tính toán VOF.



Hình 5. Hiển thị cửa sổ lựa chọn kỹ thuật giải.

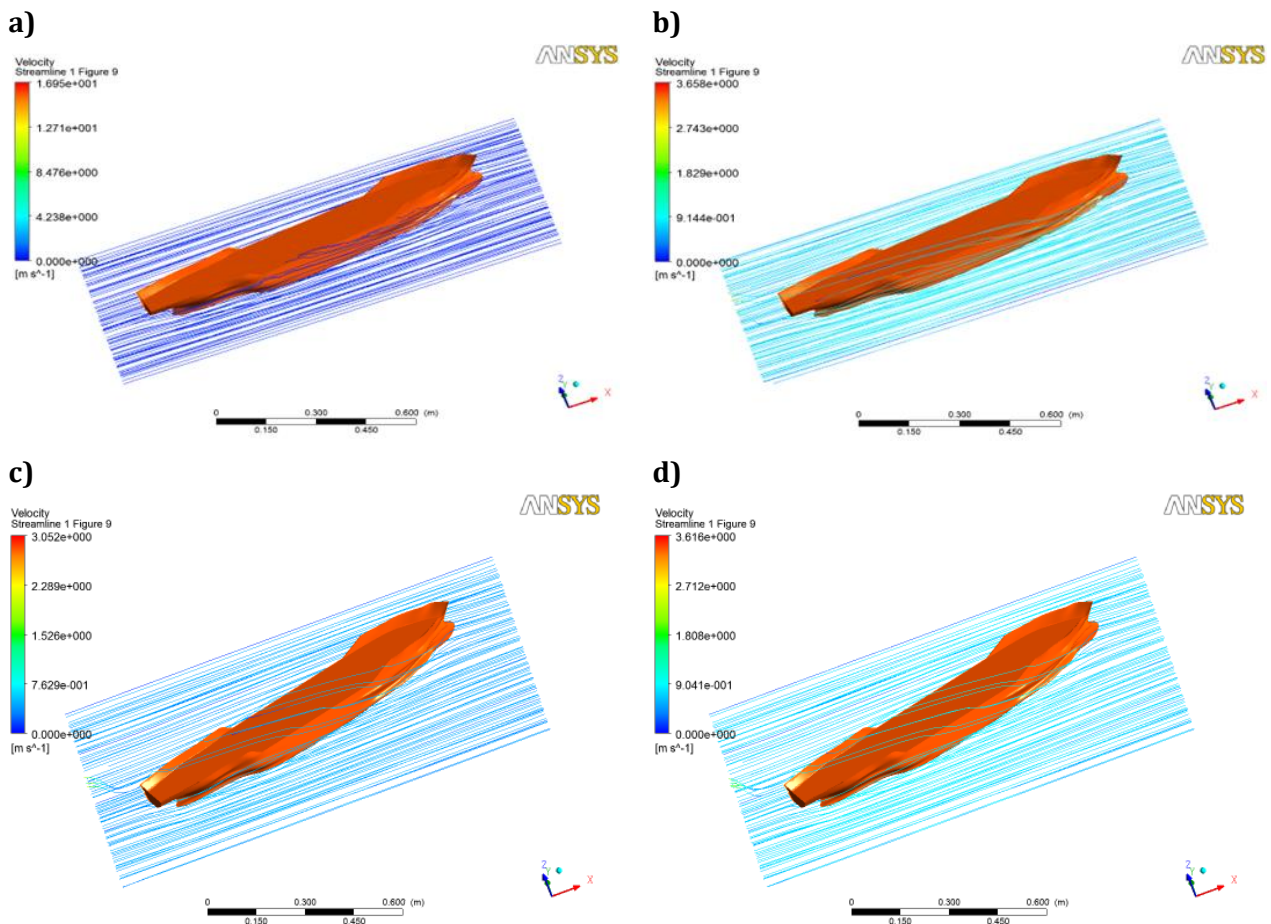


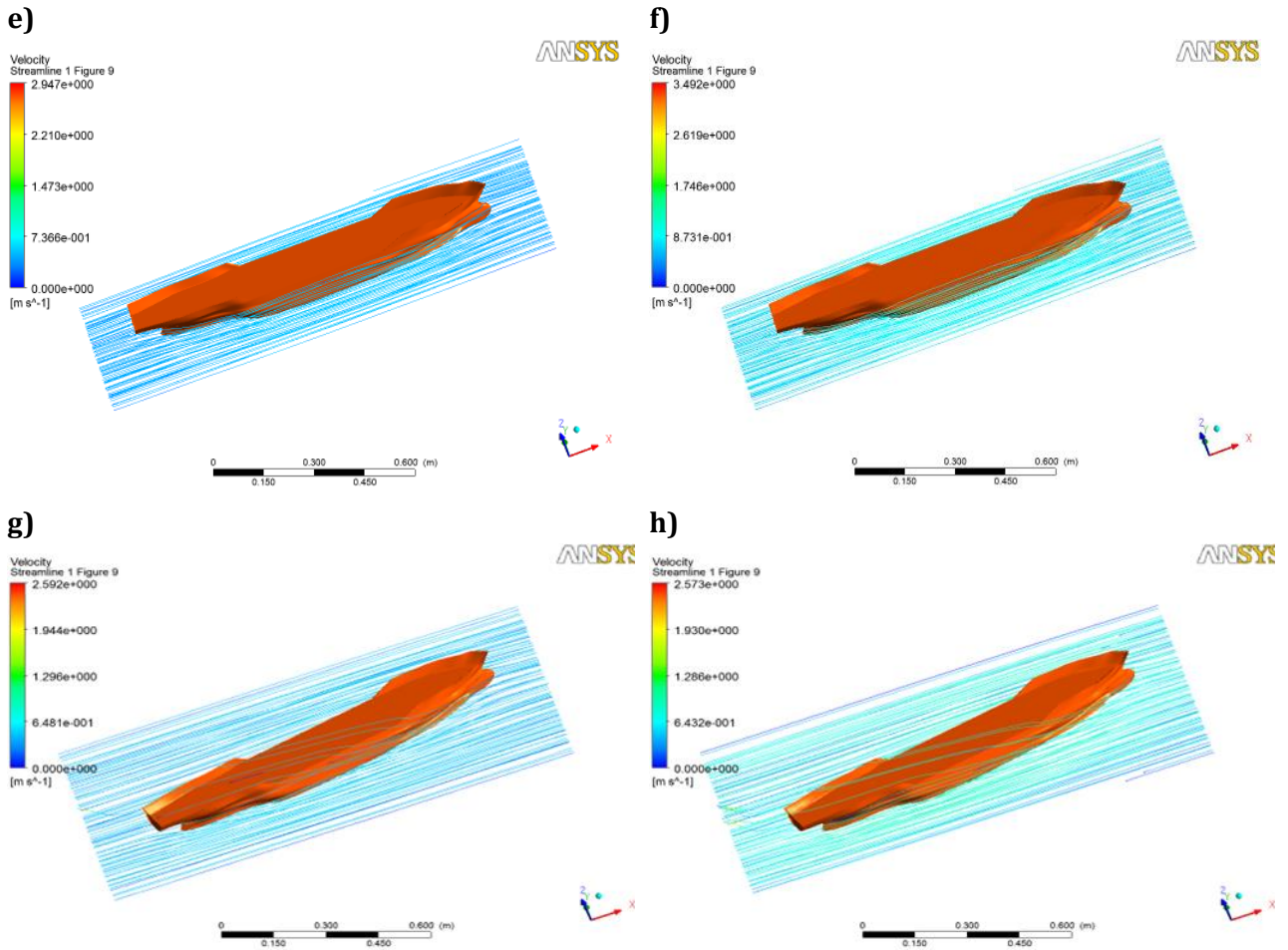
Hình 6. Cửa sổ trạng thái tính toán và tiêu chuẩn hội tụ.



Hình 7. Kết quả tính toán mô phỏng chia lưới.

Ứng dụng CFD với Fluent - Ansys tính toán mô phỏng động lực học dòng chảy bao của tất cả 16 trường hợp, giá trị nhận được là vận tốc dòng chảy bao quanh tàu biển và lực ly tâm gia thêm. Chi tiết kết quả cụ thể trong hai trường hợp vận tốc mô hình tàu đồng dạng nhỏ nhất và vận tốc mô hình tàu đồng dạng lớn nhất, nghĩa là  $V_m = \{0,45; 0,75\}$ , (m/s), khi tàu biển thay đổi hướng chuyển động, thứ tự HT =  $\{0000, 0100, 0200, 0300\}$ , theo Hình 8.





**Hình 8.** Kết quả tính toán mô phỏng vận tốc dòng chảy bao quanh tàu biển, khi thay đổi HT và Vm. (a) HT = 0000, Vm = 0,45 m/s, (b) HT = 0000, Vm = 0,75 m/s, (c) HT = 0100, Vm = 0,45 m/s, (d) HT = 0100, Vm = 0,75 m/s, (e) HT = 0200, Vm = 0,45 m/s, (f) HT = 0200, Vm = 0,75 m/s, (g) HT = 0300, Vm = 0,45 m/s, (h) HT = 0300, Vm = 0,75 m/s.

Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng lực ly tâm gia thêm bằng CFD, trên tàu mô hình đồng dạng của các trường hợp thay đổi hướng chuyển động và vận tốc của tàu, theo Bảng 2.

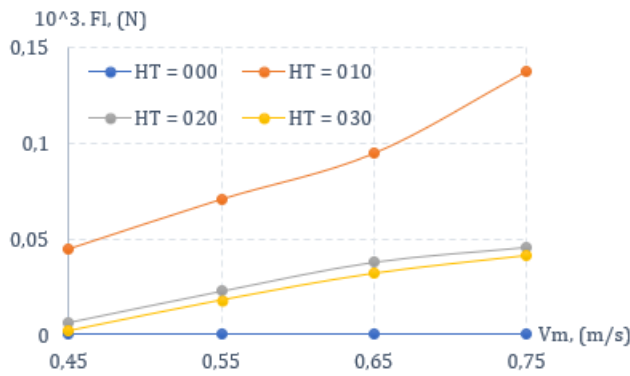
**Bảng 2.** Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng lực ly tâm gia thêm bằng CFD.

Vận tốc tàu mô hình (V <sub>m</sub> ), (m/s)	0.45	0.55	0.65	0.75
HT=000°	0	0	0	0
Lực ly tâm, (N)				
HT=010°	0.045.10 <sup>-3</sup>	0.071.10 <sup>-3</sup>	0.105.10 <sup>-3</sup>	0.158.10 <sup>-3</sup>
HT=020°	0.006.10 <sup>-3</sup>	0.022.10 <sup>-3</sup>	0.038.10 <sup>-3</sup>	0.046.10 <sup>-3</sup>
HT=030°	0.002.10 <sup>-3</sup>	0.018.10 <sup>-3</sup>	0.030.10 <sup>-3</sup>	0.041.10 <sup>-3</sup>

#### 4. Kết quả tính toán mô phỏng và thảo luận

Từ kết quả Bảng 2, xây dựng đồ thị mô tả giá trị lực ly tâm gia thêm, khi thay đổi hướng chuyển

động, vận tốc mô hình tàu, mô tả theo Hình 9 và Hình 10. Đồng thời, phân tích kết quả, nhận xét rằng:



**Hình 9.** Đồ thị mối quan hệ lực ly tâm và vận tốc  $V_m$ , khi tàu thay đổi hướng chuyển động.

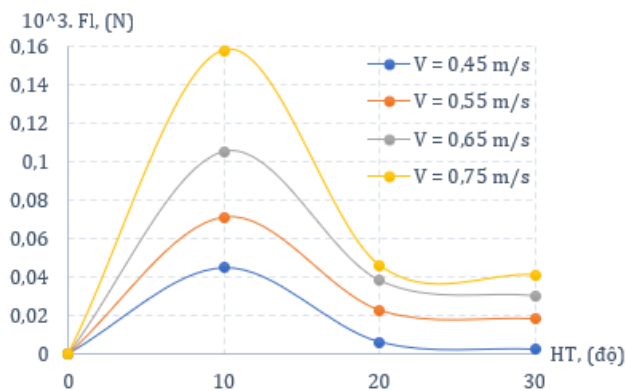
Cùng giá trị vận tốc  $V_m$ , lực ly tâm mô hình tàu sẽ tăng, khi thay đổi hướng chuyển động, chẳng hạn  $HT = 0100$  đến  $HT = 0300$ , giá trị lực ly tâm mô hình tàu sẽ tăng, cụ thể:

- Khi  $V_m = 0,45$  m/s,  $F_l = (0,045$  N -  $0,002$  N)  $\times 10^3 = 0,043 \times 10^3$  N;

- Khi  $V_m = 0,55$  m/s,  $F_l = (0,071$  N -  $0,018$  N)  $\times 10^3 = 0,053 \times 10^3$  N;

- Khi  $V_m = 0,65$  m/s,  $F_l = (0,105$  N -  $0,030$  N)  $\times 10^3 = 0,075 \times 10^3$  N;

- Khi  $V_m = 0,75$  m/s,  $F_l = (0,158$  N -  $0,041$  N)  $\times 10^3 = 0,117 \times 10^3$  N.



**Hình 10.** Đồ thị mối quan hệ lực ly tâm và hướng chuyển động, khi tàu thay đổi vận tốc  $V_m$ .

Cùng giá trị hướng chuyển động, lực ly tâm mô hình tàu sẽ tăng, khi tăng giá trị vận tốc tàu. Trường hợp 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 nhận được:

- Khi  $HT = 0100$ ,  $F_l = (0,158$  N -  $0,045$  N)  $\times 10^3 = 0,113 \times 10^3$  N;

- Khi  $HT = 0200$ ,  $F_l = (0,046$  N -  $0,006$  N)  $\times 10^3 = 0,04 \times 10^3$  N;

- Khi  $HT = 0300$ ,  $F_l = (0,041$  N -  $0,002$  N)  $\times 10^3 = 0,039 \times 10^3$  N.

Trường hợp khi vận tốc mô hình tàu lớn nhất,  $V_m = 0,75$  m/s, hướng chuyển động thay đổi lớn nhất  $HT = 0300$ , khi đó lực ly tâm mô hình tàu có giá trị là:  $F_l = 0,041 \times 10^3$  N.

## 5. Kết luận

Trong quá trình điều động tàu biển, thường xuyên thay đổi hướng chuyển động và vận tốc tàu trên tuyến luồng hàng hải, khu vực tiềm ẩn nguy hiểm, nhiều đoạn cong, khúc cua, nông cạn, chạt hẹp, nông cạn, luôn xuất hiện thành phần lực ly tâm gia thêm, sẽ ảnh hưởng đến khả năng điều khiển tàu biển. Từ thực tiễn hàng hải, bài báo tính toán mô phỏng thành phần lực ly tâm gia thêm xuất hiện trong quá trình điều khiển tàu biển.

Từ kết quả tính toán mô phỏng bằng CFD kết luận rằng: Lực ly tâm tăng rất nhanh trong giai đoạn đầu, khi tàu bắt đầu thay đổi hướng chuyển động từ đi thẳng  $HT = 0000$  và đạt giá trị lớn nhất tại hướng  $HT = 0100$ , sau đó lực ly tâm gia thêm giảm dần ở hướng  $HT = 0200$  và  $HT = 0300$ .

Thực tế hoàn toàn có thể chuyển đổi lực ly tâm của mô hình tàu 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.

Trên cơ sở kết quả đạt được, là cơ sở khoa học kết hợp thực tiễn kinh nghiệm hàng hải, tạo sự vững tin và đưa ra khuyến cáo với hoa tiêu, thuyền trưởng, sỹ quan hàng hải trong quá trình điều động tàu, đặc biệt tại các khu vực nguy hiểm, những đoạn luồng, khúc cua, góp phần giảm nguy cơ mất an toàn, rủi ro hàng hải, nâng cao an toàn hàng hải.

## 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.

1<sup>st</sup>Phạm Nguyen Dang Khoa. *PATET Research Group, University of Transport Ho Chi Minh City*

2<sup>nd</sup>Phạm Kỳ Quang\*. *School of Excellent Education, Vietnam Maritime University*

\*Corresponding author: [phamkyquang@vamaru.edu.vn](mailto:phamkyquang@vamaru.edu.vn)

### Tài liệu tham khảo

- [1] 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.
- [2] 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, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.01.011.
- [3] Pham Ky Quang 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.
- [4] Lê Văn Toàn, 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 11, tr. 39-43, 2016.
- [5] Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy, 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, 2016.
- [6] 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.
- [7] Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy, Nguyễn Thành Nhật Lai, 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*, tr. 60-64, số 49, 2017.
- [8] Bùi Văn Cường, "Nghiên cứu tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng đi tàu thủy trên tuyến luồng Hải Phòng", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 2018.
- [9] 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.
- [10] Nguyễn Xuân Phương, Phạm Kỳ Quang và cộng sự, *Công nghệ ứng dụng trong điều khiển tàu biển*, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 2025.
- [11] 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.
- [12] Phạm Nguyên Đăng Khoa, "Nghiên cứu tác động của dòng chảy đến tàu thủy tại khu neo đậu Vũng Tàu", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh, 2021.
- [13] Phạm Kỳ Quang, 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, 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.
- [15] Cổ Tấn Anh Vũ, Phạm Nguyên Đăng Khoa, Nguyễn Thanh Sơn, Phạm Kỳ Quang, "Tính toán lực bề lái tàu thủy bằng phương pháp CFD khi thay đổi góc bề lái", *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 08, tr. 61-63, 2023.
- [16] Phạm Nguyên Đăng Khoa, Phạm Kỳ Quang, "Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng mô men gia thêm góp phần nâng cao tính ổn định trong điều khiển tàu biển", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, tập 14, số 5, tr. 120-126, 2025, Doi: <https://www.doi.org/10.55228/JTST140510>.
- [17] TAN CANG Shipping JSC., "Hồ sơ tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, 1996", số 772 Dien Bien Phu, Ho Chi Minh city.