

Nghiên cứu lập trình mô phỏng kiểm tra độ dạt ngang của tàu phục vụ thiết kế luồng hàng hải tiếp cận bề cảng có đê chắn sóng

Study on simulation programming to analyse ship's lateral drift provision supporting to the design of marine channels approaching the port basin with breakwaters

Trần Khánh Toàn

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: toantk.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt:

Bài báo giới thiệu tổng quan về nội dung thiết kế bề rộng luồng hàng hải, trong đó có tính toán dự phòng độ dạt ngang của tàu dưới tác dụng của gió và dòng chảy. Hiện nay, các tính toán dự phòng thường sử dụng các công thức tiền định mà chưa áp dụng kỹ thuật mô phỏng số để kiểm tra lại kết quả tính toán theo chuyển động thực của tàu. Nghiên cứu này được thực hiện trên cơ sở xây dựng mô hình toán chuyển động tàu trong điều kiện có tác dụng của gió và dòng chảy, nghiên cứu lập trình mô phỏng quỹ đạo khi bị dạt ngang của tàu dưới tác dụng của gió và dòng chảy, từ đó hỗ trợ cho việc phân tích, kiểm tra kết quả thiết kế tính toán dự phòng độ dạt ngang của tàu, ứng dụng cho các tình huống hạn chế không gian điều động tàu và tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên luồng hàng hải tiếp cận cửa các bề cảng có đê chắn sóng.

Từ khóa: Thủy động lực học tàu; mô phỏng quỹ đạo tàu; độ dạt tàu; ảnh hưởng của gió; ảnh hưởng của dòng chảy; luồng vào bề cảng.

Abstract:

This article introduces an overview of the content of the design of the marine channel width, including the calculation of the ship's lateral drift provision under the effect of wind and current. At present, contingency calculations often use pre-determined formulas without applying numerical simulation techniques to analyse the calculation results according to the actual ship's motion. This study is carried out on the basis of building a mathematical model of ship motion under the influence of wind and current, studying and programming the simulation of ship's lateral drift under the influence of wind and current, thereby supporting the analysis of the design calculation results, applied to the situations where the ship's maneuvering space is limited with the potential ship collision for marine channels approaching port basin entrance with breakwaters.

Keywords: Ship hydrodynamic; ship's trajectory simulation; ship's drift; wind effect; current effect; port basin entrance.

1. Giới thiệu

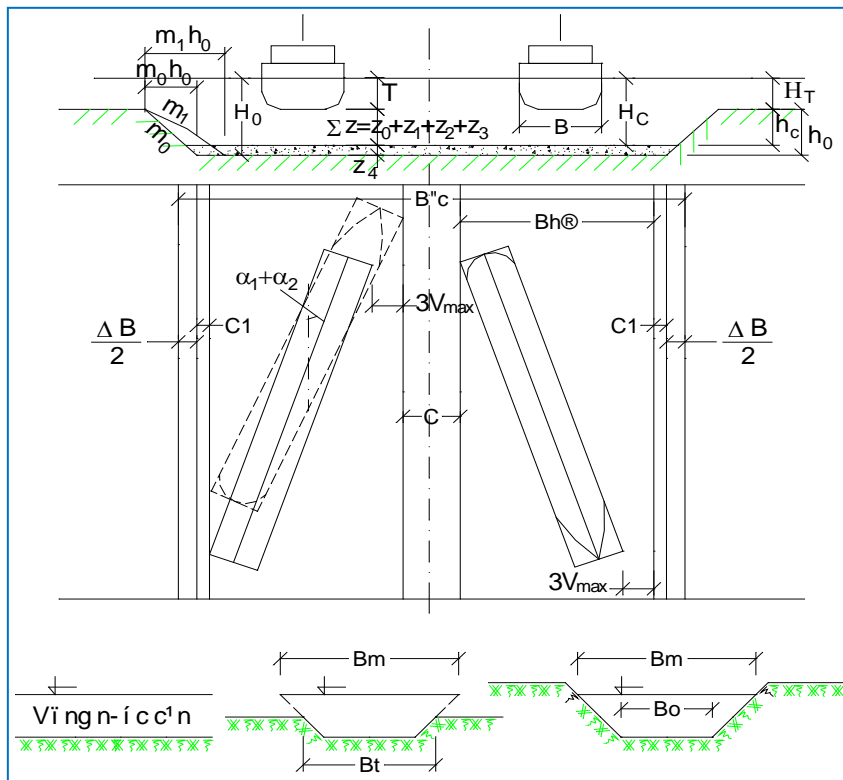
Tàu chuyển động trong điều kiện không có gió hoặc dòng chảy, lực gây nhiễu của môi trường tác dụng lên thân tàu là không đáng kể, chỉ là sức cản của nước (tĩnh) và sức cản của không khí. Khi đó, lực đẩy của chân vịt có tác dụng làm cho tàu tiến

hoặc lùi. Nếu có gió, tùy theo hướng gió tới và diện tích hứng gió trên thân tàu, gió sẽ có ảnh hưởng có lợi hoặc bất lợi đối với việc điều khiển chuyển động của con tàu. Với tác động của dòng chảy, nếu tàu chạy xuôi dòng sẽ làm tăng vận tốc tàu và ngược lại. Dòng chảy mạnh thường có ảnh hưởng lớn hơn gió nếu tàu chờ đầy hàng với mớn

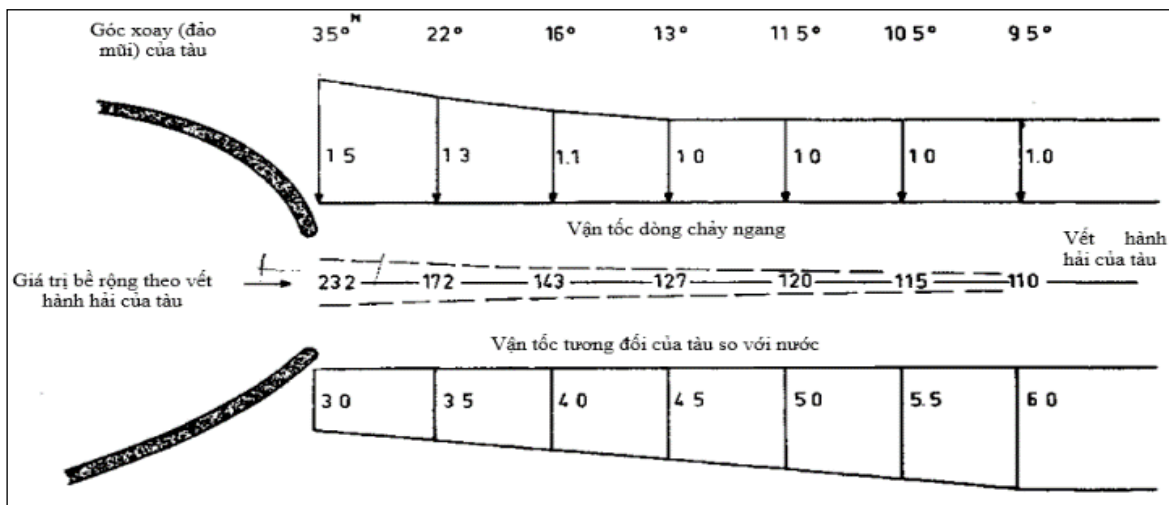
nước sâu. Do đó, khi tàu chuyển động, cần xét tới tác dụng của từng yếu tố gió hoặc dòng chảy, hoặc tổng hợp của cả hai yếu tố, người điều khiển tàu đưa ra phương án điều động căn cứ vào vận tốc tàu, hướng tàu chạy, kết cấu phần nổi, vận tốc và hướng gió, vận tốc và hướng dòng chảy. Khi thiết kế bề rộng luồng hàng hải, trước tiên phải tính toán bề rộng dải hoạt động của tàu, trong đó có xét tới dự phòng bề rộng độ dạt do gió và dòng chảy dưới một góc dạt cố định (α_1, α_2) [1]:

$$B_{hd} = L \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) + B \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) + t \cdot \sin \beta \cdot V_{max} \quad (1)$$

Sơ đồ tính toán các dự phòng và bề rộng (hình 1). Trong công thức (1), các đại lượng tính toán là tiền định, được xác định theo phương pháp đồ giải vector giữa chuyển động tàu, lực tác dụng của gió và dòng chảy thịnh hành tại khu vực tính (theo số liệu thống kê nhiều năm), chưa xét tới tình huống đặc biệt hạn chế không gian điều động tàu khi luồng tàu tiếp cận cửa bể cảng có đê chắn sóng (hình 2).



Hình 1. Sơ đồ tính toán các dự phòng và bề rộng dải hoạt động của tàu [1].



Hình 2. Ví dụ về ảnh hưởng của dòng chảy ngang tại cửa bể cảng có đê chắn sóng [2].

Vì vậy, việc nghiên cứu, áp dụng kỹ thuật mô phỏng số là hướng nghiên cứu mới và cần thiết để kiểm tra kết quả tính toán theo chuyển động thực của tàu. Trên cơ sở xây dựng mô hình toán chuyển động tàu trong điều kiện có tác dụng của gió và dòng chảy, nghiên cứu lập trình mô phỏng quỹ đạo khi bị dạt ngang của tàu dưới tác dụng của gió và dòng chảy, kết quả nghiên cứu có thể hỗ trợ cho việc phân tích, kiểm tra kết quả thiết kế tính toán dự phòng độ dạt ngang của tàu, ứng dụng cho các tình huống hạn chế không gian điều động tàu và tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên luồng hàng hải tiếp cận cửa các bể cảng có đê chắn sóng.

2. Xây dựng mô hình toán

2.1. Hệ phương trình chuyển động tàu

Trong trường hợp tổng quát, xét tàu chuyển động trên mặt nước với ba thành phần chuyển động (surge – dọc, sway – ngang, yaw – đảo mũi), hệ phương trình chuyển động tàu khi chưa có tác dụng của gió và dòng chảy được biểu diễn [3]:

$$\begin{cases} m(\dot{u} - vr) = X \\ m(\dot{v} + ur) = Y \\ I_z \dot{r} = N \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:

m : Khối lượng tàu;

$\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$: Các thành phần gia tốc chuyển động thẳng, ngang thân và đảo mũi của tàu;

I_z : Mô men quán tính đảo mũi của tàu;

X, Y, N lần lượt là các thành phần lực và mô men thủy động (do tác dụng của tổ hợp chân vịt và bánh lái) theo phương dọc, phương ngang và phương đứng của tàu.

Khi xét tới tác động của các thành phần lực mà mô men do gió và dòng chảy lên thân tàu, hệ phương trình chuyển động tàu (2) có dạng như sau [4][5]:

$$\begin{cases} m(\dot{u} - vr) = X + X_w + X_c \\ m(\dot{v} + ur) = Y + Y_w + Y_c \\ I_z \dot{r} = N + N_w + N_c \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó:

X_w, Y_w, N_w lần lượt các thành phần lực dọc thân tàu, lực ngang thân tàu và mô men đảo mũi do gió tác dụng lên thân tàu;

X_c, Y_c, N_c lần lượt các thành phần lực dọc thân tàu, lực ngang thân tàu và mô men đảo mũi do dòng chảy tác dụng lên thân tàu.

Hệ phương trình (3) có dạng vi phân thường (ODE), được giải bằng phương pháp số (phương pháp Euler), thu được các nghiệm là các thông số chuyển động và quỹ đạo tàu theo thời gian, trong điều kiện thân tàu chịu tác dụng đồng thời của lực và mô men của tổ hợp chân vịt với bánh lái (X, Y, N), lực và mô men do gió (X_w, Y_w, N_w), lực và mô men do dòng chảy (X_c, Y_c, N_c).

2.2. Lực và mô men của gió và dòng chảy tác dụng lên thân tàu

2.2.1. Lực và mô men do gió tác dụng lên thân tàu

Các thành phần lực và mô men của gió tác dụng lên thân tàu được tính toán như sau [6]:

$$\begin{cases} X_w = \frac{1}{2} C_X(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_T \\ Y_w = \frac{1}{2} C_Y(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L \\ N_w = \frac{1}{2} C_N(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L L \end{cases} \quad (4)$$

Trong trường hợp tính toán lực và mô men do gió tác dụng lên thân tàu đối với các loại tàu chở dầu thô có trọng tải rất lớn (VCCLs), công thức tính toán như sau [6]:

$$\begin{cases} X_w = \frac{1}{2} C_{Xw}(\gamma_R) \frac{\rho_a}{7.6} V_R^2 A_T \\ Y_w = \frac{1}{2} C_{Yw}(\gamma_R) \frac{\rho_a}{7.6} V_R^2 A_L \\ N_w = \frac{1}{2} C_{Nw}(\gamma_R) \frac{\rho_a}{7.6} V_R^2 A_L L \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

C_X, C_Y lần lượt là các hệ số lực dọc và lực ngang thân tàu của gió, C_N là hệ số mô men theo trục đứng thân tàu của gió;

C_{Xw}, C_{Yw} lần lượt là các hệ số lực dọc và lực ngang thân tàu của gió, C_{Nw} là hệ số mô men theo

trục đứng thân tàu của gió, trong đó C_{XW} phụ thuộc vào hình dáng cấu tạo của mũi tàu còn C_{Yw} và C_{Nw} phụ thuộc vào trạng thái chở hàng (đầy tải hay ba lát) của tàu;

ρ_w, ρ_a : Khối lượng riêng của không khí (kg/m^3);

A_T, A_L (m^2) lần lượt là diện tích cản gió của thân tàu theo phương dọc và phương ngang;

L : Chiều dài tàu (m).

2.2.2. Lực và mô men do dòng chảy tác dụng lên thân tàu

Trong trường hợp tổng quát, dòng chảy tác dụng lên thân tàu là tổng hợp của các loại dòng chảy thành phần như sau [6]:

$$V_c = V_t + V_{lw} + V_S + V_m + V_{set-up} + V_d \quad (6)$$

Trong đó:

V_t : Thành phần dòng triều;

V_{lw} : Thành phần dòng chảy hình thành do tác động của gió cục bộ;

V_S : Thành phần dòng chảy hình thành do tác động của sóng phi tuyến tính (Stocks);

V_m : Thành phần dòng chảy do sự tuần hoàn của các đại dương chính (Gulf);

V_{set-up} : Thành phần dòng chảy từ việc hình thành hiện tượng nước dâng do bão;

V_d : Thành phần dòng chảy hình thành do sự chênh lệch lớn về mật độ dòng chảy của khu vực tính toán với các vùng đại dương có mật độ dòng chảy lớn hơn.

Khi tính toán tác động của dòng chảy đối với tàu, các thành phần lực và mô men của dòng chảy tương đối (X_c, Y_c, N_c) trong hệ phương trình chuyển động tàu (3) được xác định thông qua việc thay thế các thành phần vận tốc tàu khi chỉ xét tới tác dụng của chân vịt và bánh lái (u, v, r) bằng các thành phần vận tốc tương đối của tàu và tác dụng tổ hợp của cả chân vịt, bánh lái, dòng chảy (u_r, v_r, r_r) . Các thành phần lực và mô men của dòng chảy tương đối tác dụng lên thân tàu:

$$\begin{cases} X_c = m(\dot{u}_r - v_r r_r) - X \\ Y_c = m(\dot{v}_r + u_r r_r) - Y \\ N_c = I_z \dot{r}_r - N \end{cases} \quad (7)$$

Véc tơ vận tốc tương đối của tàu do tác động tổ hợp chân vịt, bánh lái và dòng chảy được xác định như sau:

$$v_r = v - v_c \quad (8)$$

Trong đó: $v_r = [u_r, v_r, r_r]^T$; $v = [u, v, r]^T$ là véc tơ vận tốc riêng của tàu do tác dụng của chân vịt và bánh lái; $v_c = [u_c, v_c, r_c]^T$ là véc tơ vận tốc dòng chảy với các thành phần được xác định:

$$\begin{cases} u_c = V_c \cos(\beta - \psi) \\ v_c = V_c \sin(\beta - \psi) \\ r_c = 0 \end{cases} \quad (9)$$

3. Lập trình mô phỏng số

3.1. Phương pháp mô phỏng số

Trong nghiên cứu này, tác giả áp dụng phương pháp mô phỏng số Euler để lập trình và giải hệ phương trình chuyển động tàu (3) có dạng hệ phương trình vi phân thường. Sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab [7].

3.2. Số liệu đầu vào mô phỏng số

Lựa chọn mô hình tàu thực có trọng tải 193.000DWT [8], giả định các thông số chuẩn tắc luồng vào tại vị trí cửa bể cảng có bố trí đê chắn sóng. Các thông số chính của tàu được tổng hợp trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số chính của tàu và luồng.

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Chiều dài tàu	L(m)	304.8
Chiều rộng tàu	B(m)	47.17
Mớn nước tàu	T(m)	18
Hệ số béo của tàu	C_B	0.83

3.3. Lựa chọn tình huống mô phỏng số

Tình huống giả định: Tàu hành trình trên luồng vào cửa bể cảng có 2 đê chắn sóng. Bề rộng luồng giả định được tính sơ bộ:

- Chế độ lưu thông: 1 chiều;
- Công thức tính bề rộng luồng 1 chiều (theo Quy trình thiết kế kênh biển):

$$B_c = B_{hd} + 2C_l + \Delta B \quad (10)$$

$$B_{hd} = L \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) + B \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) + t \cdot \sin\beta \cdot V_{max} \quad (11)$$

Trong đó:

$\alpha_1 + \alpha_2$: Tổng góc dạt do gió và dòng chảy, lấy giá trị tối đa là 25° ;

V_{max} : Vận tốc tàu tối đa, lấy giá trị tối đa là 5m/s;

$t \cdot \sin\beta$: Có giá trị kinh nghiệm bằng 3 giây.

- Giá trị bề rộng dải hoạt động của tàu tính được là: $B_{hd} = 187$ (m);
- Các giá trị dự phòng: $C_l = 0.5B$; $\Delta B = 0$ (vùng nước sâu không xét mái dốc).

Từ đó, tính được bề rộng luồng giả định (giá trị làm tròn):

$$B_c = 250 \text{ (m)}$$

Trong thực tế điều động dưới tác dụng của gió và dòng chảy, nếu luồng trên sông thì chịu tác dụng chủ yếu của gió do dòng chảy thường có phương trùng với trục dọc tim luồng. Còn trong tình huống giả định này, luồng bố trí ở vùng biển hở, người điều khiển tàu có thể giữ hướng tàu lệch với trục dọc tim luồng một góc cố định để bù lại độ dạt do gió để duy trì quỹ đạo thẳng của tàu, trong khi cần lưu tâm hơn đến dòng chảy ngang bất lợi cho tàu ở gần vị trí cửa bể cảng có đê chắn sóng. Trong phạm vi nội dung nghiên cứu, tác giả mô phỏng độ dạt ngang do dòng chảy theo phương bất lợi nhất (vuông góc thân tàu), độ dạt ngang được qui đổi về góc dạt so với trục tim luồng khi tàu chạy ở các dải vận tốc khác nhau. Vận tốc dòng chảy cũng được lựa chọn 03 giá trị thường xuất hiện ở vùng biển hở gần bờ. Thông số đầu vào mô phỏng cho 09 tình huống giả định được lựa chọn trong bảng 2.

Bảng 2. Lựa chọn thông số 09 tình huống giả định để mô phỏng độ dạt ở các dải vận tốc dòng chảy và vận tốc tàu khác nhau.

Nhóm tình huống	Tình huống	Thời gian mô phỏng t (s)	Vận tốc vòng quay chân vịt n (rpm)	Vận tốc dòng chảy ngang V_c (m/s)
1	nVc_1.1	120	40	0.51
	nVc_1.2	120	40	1.03
	nVc_1.3	120	40	1.54
2	nVc_2.1	120	50	0.51
	nVc_2.2	120	50	1.03
	nVc_2.3	120	50	1.54
3	nVc_3.1	120	60	0.51
	nVc_3.2	120	60	1.03
	nVc_3.4	120	60	1.54

Vận tốc tàu được đặc trưng bởi vận tốc vòng quay chân vịt, lựa chọn trong dải vận tốc: 40 rpm, 50 rpm và 60 rpm.

Vận tốc dòng chảy ngang (trong tình huống này có hướng Bắc, vuông góc với thân tàu) lựa chọn trong dải vận tốc: 1 knots (0.51m/s), 2 knots (1.03m/s) và 3 knots (1.54m/s).

4. Kết quả mô phỏng và phân tích

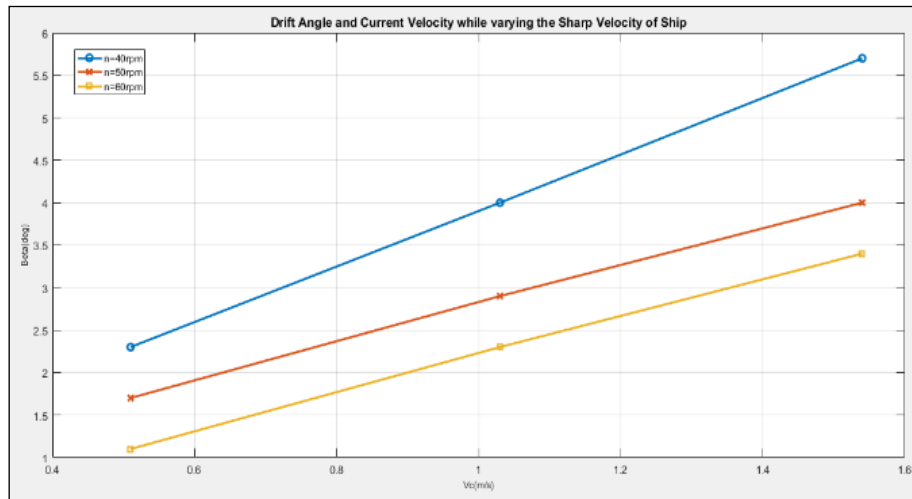
Kết quả mô phỏng số được tổng hợp trong bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp các thông số và kết quả của các tình huống mô phỏng độ đạt ở các dải vận tốc dòng chảy và vận tốc tàu khác nhau (S : Khoảng cách dọc; B : Độ đạt ngang; v : Vận tốc đạt ngang; β : Góc đạt ngang, với $\tan\beta = B/S$ nên $\beta = \arctg(B/S)$).

Tình huống	S	B	B/S	β	v (m/s)
nVc_1.1	542.5	19.4	0.04	2.3	0.16
nVc_1.2	543.0	36.8	0.07	4.0	0.31
nVc_1.3	544.0	52.8	0.10	5.7	0.44
nVc_2.1	672.8	17.9	0.03	1.7	0.15
nVc_2.2	673.4	33.8	0.05	2.9	0.28
nVc_2.3	674.2	48.6	0.07	4.0	0.41
nVc_3.1	808.6	16.5	0.02	1.1	0.14
nVc_3.2	809.1	31.2	0.04	2.3	0.26
nVc_3.4	809.9	44.9	0.06	3.4	0.37

Từ kết quả mô phỏng, xây dựng đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa góc đạt của tàu (tính qui đổi từ độ đạt ngang) với dải vận tốc dòng chảy ngang ở

các vận tốc chạy tàu khác nhau khi tiếp cận bề cảng có đê chắn sóng.



Hình 3. Kết quả mô phỏng quan hệ giữa góc đạt với vận tốc tàu ở các dải vận tốc dòng chảy khác nhau.

Phân tích:

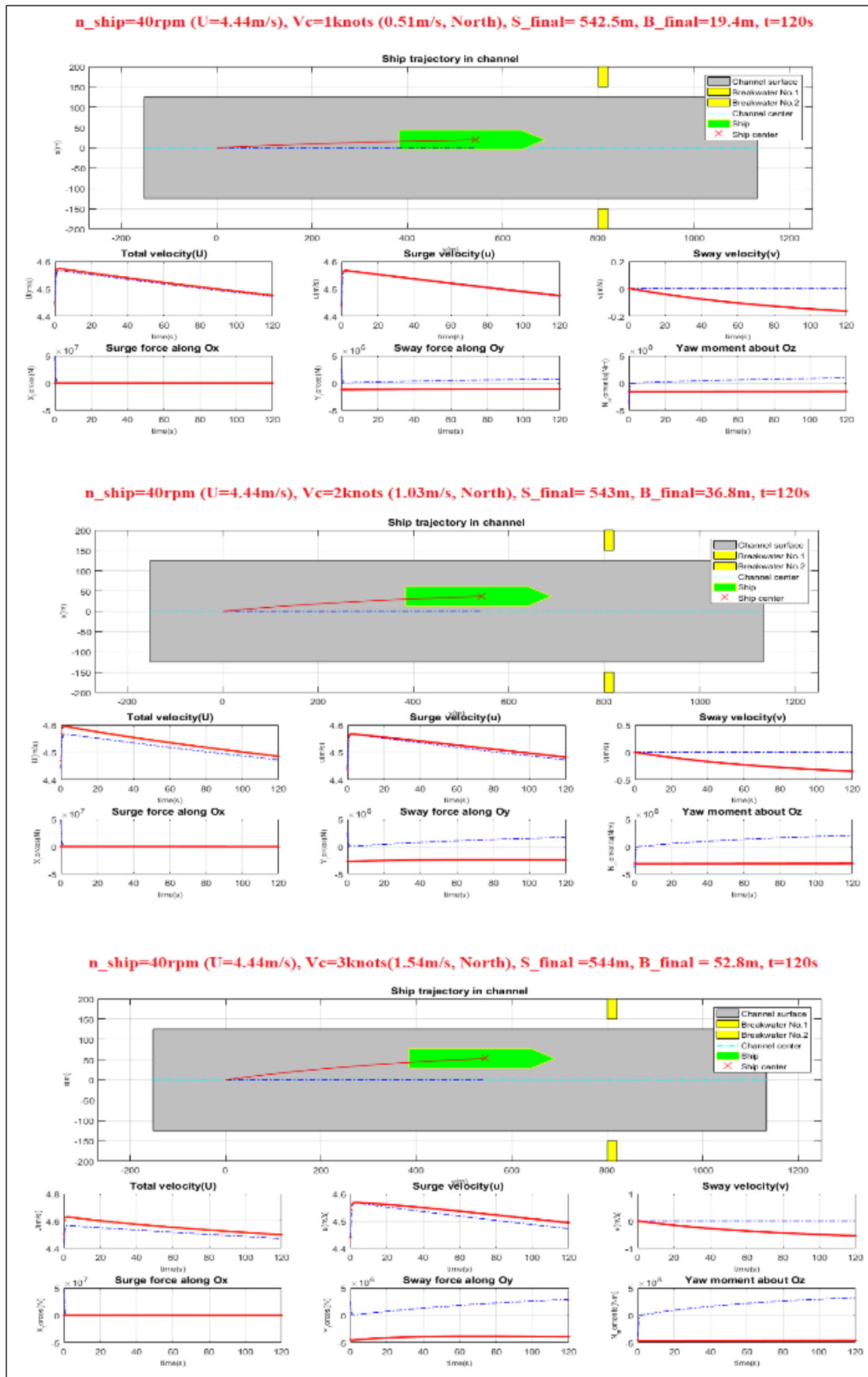
- Qui luật thay đổi của góc đạt theo vận tốc dòng chảy ngang ở các dải vận tốc tàu là phù hợp với đặc tính lý thuyết.

- Có thể sử dụng kết quả mô phỏng theo kích thước tàu thực, hệ phương trình chuyển động tàu thực, số liệu dòng chảy thực để kiểm tra lại kết

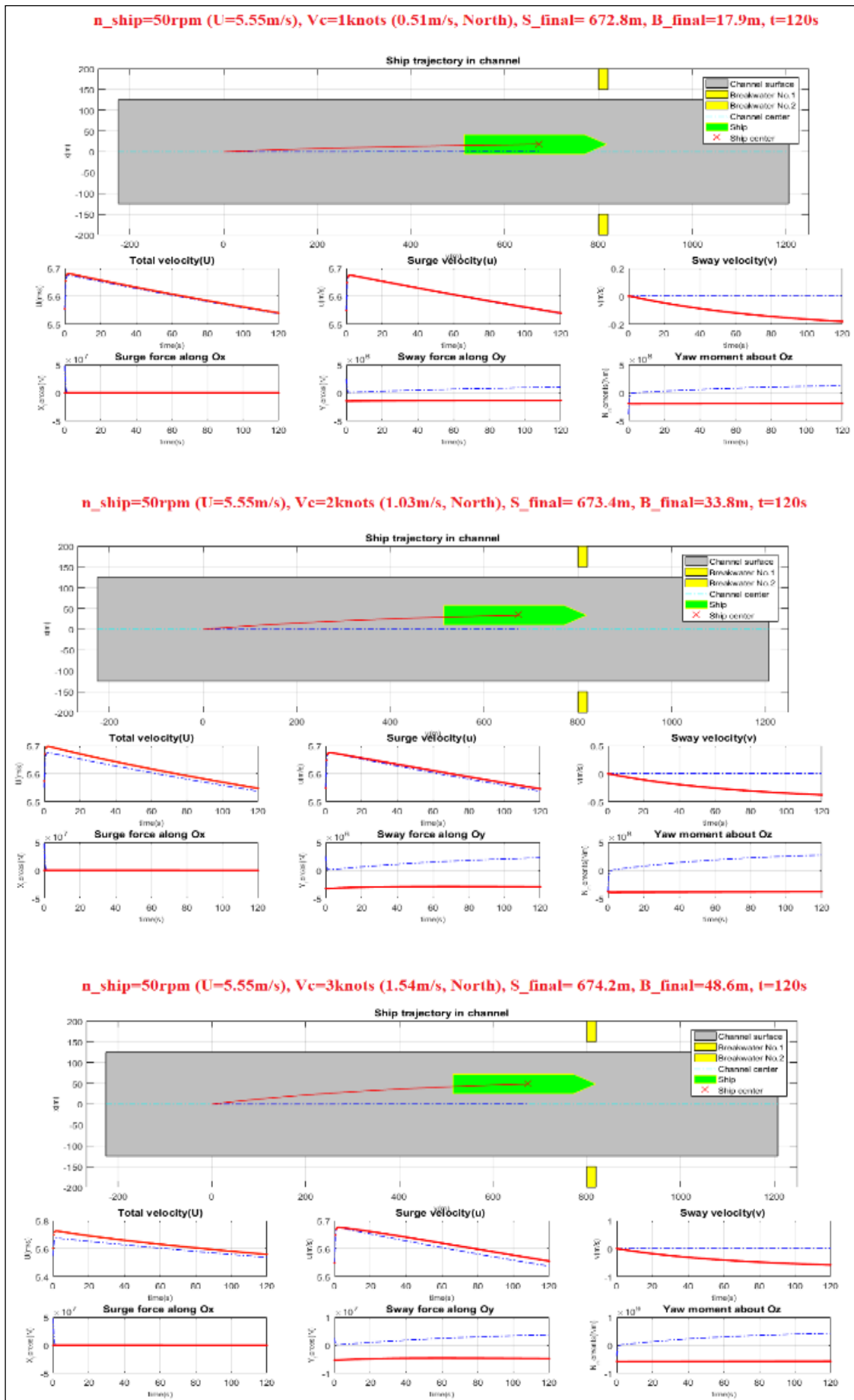
quả tính toán bề rộng luồng, tập trung vào hai thành phần: Tổng góc đạt do gió và dòng chảy ($\alpha_1 + \alpha_2$); giá trị “ $t \cdot \sin\beta \cdot V_{max}$ ”.

- Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng trong tính toán kiểm tra bề rộng luồng và xác suất tàu vượt biên luồng so với thông số thiết kế dựa vào cơ sở dữ liệu vết tàu thực trong quá trình quản lý khai thác luồng.

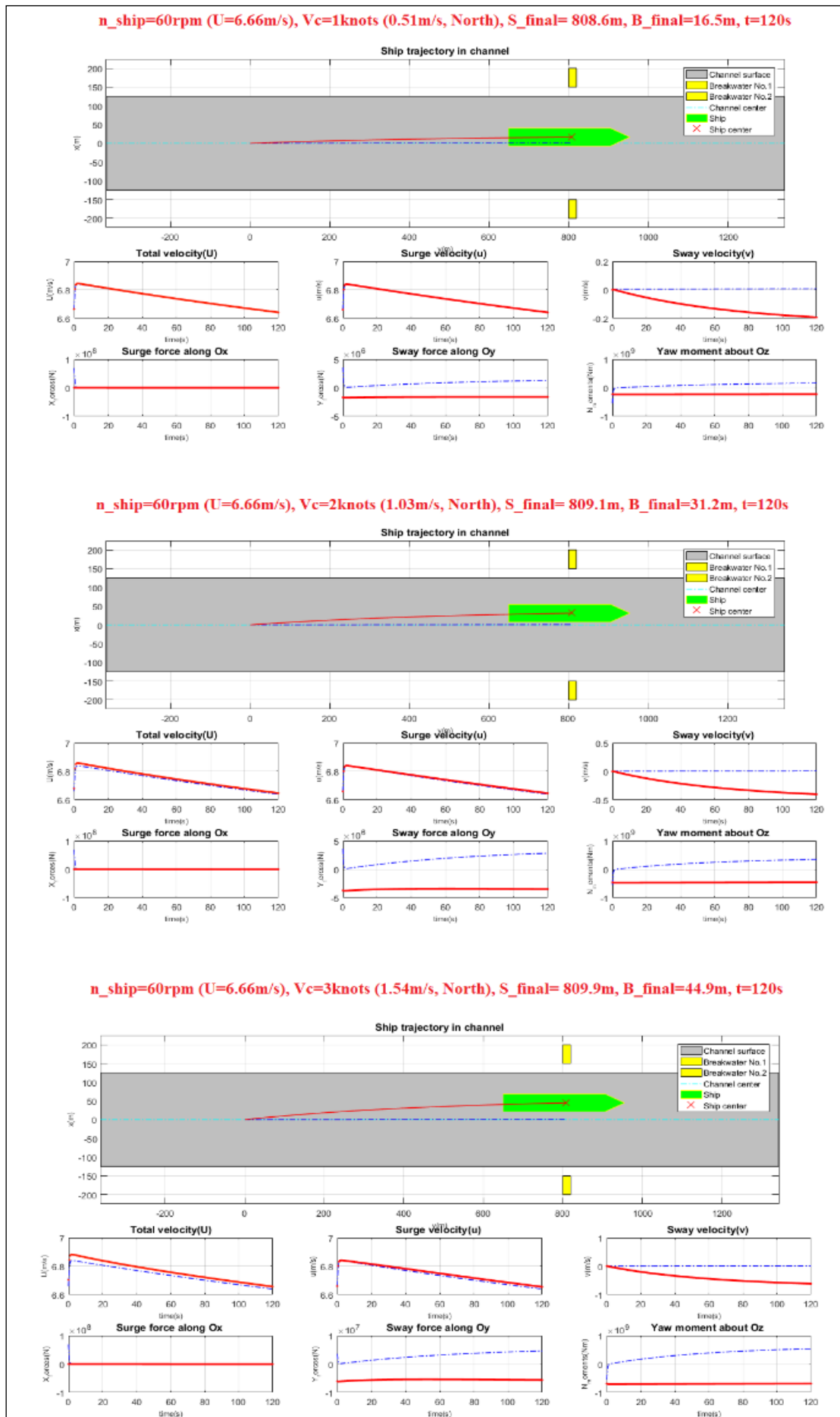
Kết quả mô phỏng quỹ đạo tàu, các thành phần lực và mô men tác dụng lên thân tàu theo thời gian thực:



Hình 4. Kết quả mô phỏng quỹ đạo tàu của nhóm tình huống 1 ($nV_{c_1.1}$; $nV_{c_1.2}$; $nV_{c_1.3}$), $n = 40$ rpm.



Hình 5. Kết quả mô phỏng quỹ đạo tàu của nhóm tình huống 2 ($nVc_{2.1}$; $nVc_{2.2}$; $nVc_{2.3}$), $n = 50$ rpm.



Hình 6. Kết quả mô phỏng quỹ đạo tàu của nhóm tình huống 3 ($nVc_{3.1}$; $nVc_{3.2}$; $nVc_{3.3}$), $n = 60$ rpm.

5. Kết luận

Phân tích các tình huống điển hình về biến thiên theo thời gian của các thành phần vận tốc, lực và mô men của tàu, cho thấy kết quả mô phỏng là phù hợp với đặc tính lý thuyết. Kết quả lập trình mô phỏng đảm bảo độ tin cậy để phục vụ cho các phân tích, kiểm tra dự phòng độ dạt ngang của tàu (khoảng cách dạt ngang, hoặc qui đổi sang góc dạt ngang) khi tính toán thiết kế luồng hàng hải tiếp cận của bề cảng có đê chắn sóng.

Có thể sử dụng kết quả mô phỏng theo kích thước tàu thực, hệ phương trình chuyển động tàu thực, số liệu gió và dòng chảy thực để kiểm tra lại kết quả tính toán bề rộng luồng, tập trung vào 2 thành phần: tổng góc dạt do gió và dòng chảy ($\alpha_1 + \alpha_2$), giá trị " $t \cdot \sin \beta \cdot V_{max}$ ".

Ngoài ra, kết quả nghiên cứu còn có thể ứng dụng trong tính toán kiểm tra bề rộng luồng, xác suất tàu vượt biên luồng để đánh giá hiệu quả trong quá trình khai thác luồng (dựa vào cơ sở dữ liệu vết tàu thực, thu thập bằng hệ thống tự động nhận dạng tàu AIS) theo thông số thiết kế chuẩn tắc luồng ban đầu.

Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, có giá trị tham khảo tốt đối với các nhà khoa học, các chuyên gia, giảng viên, sinh viên và học viên cao học liên quan đến các chuyên ngành Kỹ thuật an toàn hàng hải, Kỹ thuật xây dựng công trình thủy, Điều khiển tàu biển, Quản lý hàng hải.

Lời cảm ơn

Tác giả trân trọng cảm ơn Ban tổ chức hội thảo đã lựa chọn để tác giả được báo cáo kết quả nghiên cứu này tại Hội thảo quốc tế CoREST VII - 2021 tổ chức tại Trường Đại học Giao thông

vận tải Thành phố Hồ Chí Minh tháng 11 năm 2021.

Tài liệu tham khảo

- [1] Viện Thiết kế giao thông, Bộ Giao thông vận tải; "Quy trình thiết kế kênh biển". 1976.
- [2] T. K. Toàn; "Luồng tàu và khu nước của cảng"; Hải Phòng, Việt Nam: Nhà xuất bản Hàng hải. 2019.
- [3] T. I. Fossen; "Guidance and Control of Ocean Vehicles" West Sussex, UK: John Wiley & Sons. 1994.
- [4] S. Sutulo, L. Moreira, C.G. Soares; "Mathematical models for ship path prediction in manoeuvring simulation systems". Ocean Engineering, 29(1):1-19. DOI:10.1016/S0029-8018(01)00023-3. 2002.
- [5] T. K. Toàn; "Lập trình mô phỏng cảnh báo đâm va tàu đảm bảo an toàn hàng hải trong vùng nước hạn chế". Tạp chí Giao thông vận tải, số 11/2018:111-113. 2018.
- [6] N. V. Thành; Giáo trình "Điều động tàu", NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội. 2007.
- [7] T. K. Toan, A. Ouahsine, H. Naceur, K. E. Wasifi; "Assessment of ship manoeuvrability by using a coupling between a nonlinear transient manoeuvring model and mathematical programming techniques". Journal of Hydrodynamics. 2013; 25(5):788-804. DOI: DOI: 10.1016/S1001-6058(13)60426-6, pp.788-804, Otc.2013. ISSN: 1001-6058.
- [8] D. Clarke, D. R. Patterson, R. K. Vfooderson; "Manoeuvring trials with the 193000 dwt tanker Esso Bernicia". Naval Architect, 10(2):89-109. DOI: 10.1016/S1001-6058(13)60426-6. 1973.

Ngày nhận bài: 10/01/2022

Ngày chuyển phản biện: 17/01/2022

Ngày hoàn thành sửa bài: 07/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 14/02/2022