

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Hải Phòng là thành phố trọng điểm kinh tế phía Bắc, cửa ngõ quốc tế thông ra biển của vùng kinh tế trọng điểm phía Bắc. Khu vực cảng biển Hải Phòng là một trong ba khu vực cảng biển lớn nhất Việt Nam, là đầu mối lưu thông hàng hóa chính của khu vực Miền Bắc bằng đường biển. Trong quy hoạch hệ thống cảng biển của Việt Nam đến năm 2020 tầm nhìn đến năm 2030, cảng biển Hải Phòng là hệ thống cảng tổng hợp quốc gia và cửa ngõ quốc tế, dự kiến khối lượng hàng hóa thông qua cảng biển Hải Phòng đạt 120 triệu tấn/năm đến năm 2020, hàng năm tăng trung bình khoảng 11%.

Hiện tại trung bình mỗi ngày có 50 lượt tàu biển ra vào cập cầu, có thời điểm 70 lượt tàu biển ra vào cảng Hải Phòng. Việc điều khiển tàu biển ra vào tuyến luồng hàng hải Hải Phòng do hoa tiêu bắt buộc. Đặc điểm của tuyến luồng Hải Phòng là một chiều có ga tránh, giới hạn vận tốc chạy tàu, khả năng quay trở hẹp, nhiều đoạn hẹp, khúc quanh co, khu vực nông cạn cục bộ, nhiều khu vực gặp nhau của nhánh sông, với đặc điểm thủy triều và dòng chảy siết tại các khu vực đó, do đó nhiều vụ tai nạn hàng hải xảy ra, chủ yếu do mắc cạn và đâm va. Trung bình khoảng 11 vụ tai nạn hàng hải liên quan đến tàu biển trong một năm, có những vụ đặc biệt nghiêm trọng, gây tổn thất lớn về người và tài sản. Hầu hết các vụ tai nạn xảy ra là do người điều khiển tàu.

Một trong những nguyên nhân cơ bản trong quá trình điều khiển tàu, là do sự tương tác của tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy tại thực địa trên tuyến luồng chưa phù hợp. Vì vậy, hoa tiêu và thuyền trưởng hiểu rõ quỹ đạo chuyển động cho trước (hay quỹ đạo mong muốn), độ sâu của luồng, vận tốc tàu, vấn đề an toàn hàng hải, đặc điểm khí tượng thủy văn,... của tuyến luồng Hải Phòng. Với mỗi chủng loại tàu thủy, mức độ tải trọng khác nhau, thông số tuyến luồng tại thời điểm hiện tại, sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến điều khiển tàu theo phương án nào cho phù hợp nhất hay tối ưu.

Liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu của đề tài luận án ở trong nước và nước ngoài, có thể kể đến một số công trình tiêu biểu sau:

- Tại nước ngoài, có thể kể đến công trình khoa học của tác giả hay nhóm tác giả sau: A.V.Pustoshny, S.V. Kaprantsev thuộc Viện nghiên cứu tàu thủy Krylov tại St. Petersburg (LB Nga) đã nghiên cứu về động lực học chân vịt tàu thủy. Shreenaath Natarajan, B.Tech, Trường Đại học Texas (Hoa Kỳ) đã công bố kết quả nghiên cứu về mô phỏng số sự tương tác giữa chân vịt và bánh lái tàu thủy. Tác giả Da Qing Li, Trường Đại học Công nghệ Chalmers (Thụy Điển) đã nghiên cứu về sự tương tác chân vịt và bánh lái theo phương pháp số. Han. J, Kong. D, Kim. Y, Lew. J tại Hội nghị quốc tế thường niên tàu thủy Tae-jeon (Hàn Quốc), đã phân tích sự tương tác chân vịt và bánh lái tàu thủy. Phillips A. B, Turnock S. R, Furlong M. E tại Trường Đại học Southampton (Vương quốc Anh), đã công bố một số kết quả liên quan đến sự tương tác chân vịt và bánh lái tàu thủy theo phương pháp RANS. Andrea Di Mascio, Giulio Dubbioso, Roberto Muscari, Mario Felli đã ứng dụng chương trình CFD để phân tích sự tương tác chân vịt và bánh lái tàu thủy.

- Ở trong nước, có thể kể đến tác giả hoặc nhóm tác giả thuộc Trường Đại học Bách khoa Hà Nội như GS. TSKH. Vũ Duy Quang, PGS. TS. Lê Quang đã công bố kết quả và tính toán động lực học dòng chảy, diễn hình liên quan vấn đề xác định lực cản tàu thủy. GS. TS. Nguyễn Thế Mịch, PGS. TS. Trương Việt Anh đã công bố kết quả ứng dụng CFD cho các bài toán máy thủy lực cánh dẫn như bơm, tua bin, chân vịt tàu thủy nhưng tập trung về vấn đề xâm thực. TS. Vũ Văn Duy cùng nhóm nghiên cứu, thuộc Trường Đại học

Hàng hải Việt Nam đã công bố một số kết quả về động lực học, tính toán mô phỏng dòng chảy bao, ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng...

Từ kết quả đã công bố của các công trình, nhận xét rằng: Các kết quả nghiên cứu mang tính chất chuyên sâu và độc lập về chân vịt, về bánh lái, hoặc về tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy, hoặc dừng lại ở nghiên cứu từng phần, nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu mô phỏng số, ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng,... Hiện tại, NCS chưa thấy kết quả nghiên cứu chuyên sâu của công trình khoa học, thể hiện sự gắn kết từ động lực học chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng chuyển động của tàu thủy. Hơn nữa, lại gắn chặt chẽ với phạm vi nghiên cứu cụ thể là “tuyến luồng hàng hải Hải Phòng”. Vì vậy, NCS đã nghiên cứu và thực hiện đề tài luận án tiến sĩ: “*Nghiên cứu tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng đi tàu thủy trên tuyến luồng Hải Phòng*” không trùng với bất kỳ công trình nghiên cứu có liên quan đã công bố trước đó ở trong và ngoài nước.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng đi tàu thủy trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, góp phần đảm bảo an toàn hàng hải.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu: Nghiên cứu tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến đặc tính hướng chuyển động tàu thủy, bám theo quỹ đạo cho trước trên tuyến luồng Hải Phòng. Lựa chọn và sử dụng tàu container M/V TAN CANG FOUNDATION, trọng tải 7040 MT, có 01 chân vịt chiều phải để tiến hành thực nghiệm.

Phạm vi nghiên cứu: Áp dụng trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, trong đó chỉ tập trung vào các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng hải. Chỉ xét ảnh hưởng của dòng chảy (dòng triều), các yếu tố ảnh hưởng khác đến tàu thủy không xét đến. Áp dụng đối với tàu thủy có trọng tải tương đương khoảng 7.000 MT, loại 01 chân vịt và chiều quay chân vịt là chiều phải.

4. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm, để làm nổi bật tính khoa học và tính thực tiễn của vấn đề cần giải quyết, cụ thể:

Nghiên cứu lý thuyết gồm các vấn đề liên quan: Tổng quan tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và cơ sở lý luận tổ hợp tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy; động lực học dòng chảy sau chân vịt và tương tác với bánh lái tàu thủy; mô hình toán, quy trình tính toán, tính toán mô phỏng số quỹ đạo chuyển động tàu thủy tương ứng với các tổ hợp tương tác chân vịt - bánh lái khác nhau.

Ứng dụng chương trình CFD, gồm nhiều phần mềm đặc biệt là Fluent - Ansys trong quá trình tính toán mô phỏng để giải quyết vấn đề đặt ra.

Nghiên cứu thực nghiệm gồm: Tiến hành nghiên cứu trên hệ thống thí nghiệm kết hợp với nghiên cứu thực tế tại thực địa tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, để kiểm chứng kết quả nghiên cứu của đề tài luận án đặt ra.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học của luận án:

- Xây dựng cơ sở khoa học về mô hình nghiên cứu và mô hình chia lưới động của vấn đề nghiên cứu. Với kết quả đạt được góp phần hoàn thiện một phần cơ sở lý luận liên quan đến vấn đề nghiên cứu và có đóng góp nhất định cho khoa học chuyên ngành hàng hải;

- Đưa ra phương pháp luận về xây dựng quy trình tính toán mô phỏng sự tương tác của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng chuyển động tàu thủy nói chung. Trên

cơ sở đó áp dụng cho đối tượng và phạm vi nghiên cứu cụ thể của luận án. Từ đó, lựa chọn phương án điều khiển hướng chuyển động của tàu thủy tối ưu, nghĩa là quỹ đạo chuyển động thực của tàu thủy bám sát quỹ đạo cho trước của tuyến luồng.

Ý nghĩa thực tiễn của luận án:

- Kết hợp chặt chẽ cơ sở khoa học lý thuyết đặc thù liên quan đến khoa học chuyên ngành hàng hải với thực tiễn hàng hải;

- Kết quả nghiên cứu của luận án, có thể xây dựng thành hồ sơ dữ liệu, nhằm cập nhật chủng loại tàu, tình trạng tải trọng, tình trạng tuyến luồng, tình trạng hệ thống điều khiển (thông số hiện tại của chân vịt, bánh lái),... Từ đó, tính toán và mô phỏng, lựa chọn để đưa ra phương án điều khiển tương ứng với các vị trí trên tuyến luồng tối ưu nhất, đặc biệt các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng hải. Nghĩa là, đưa ra phương án điều động tàu tối ưu để khuyến cáo hoa tiêu, thuyền trưởng tự tin, làm chủ quá trình điều khiển loại tàu đó, góp phần đảm bảo an toàn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng;

- Có thể mở rộng áp dụng cho các tuyến luồng hàng hải khác, góp phần đảm bảo an toàn hàng hải, đặc biệt khi tàu thay đổi hướng chuyển động trên một số điểm có nguy cơ mất an toàn cao, khúc cua gấp,... trên tuyến luồng.

6. Những điểm đóng góp mới của luận án

6.1. Về mặt lý luận (phương pháp số):

- Xây dựng mô hình nghiên cứu và tính toán mô phỏng sự tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy nói chung. Đưa ra các thông số động lực học, điển hình là giá trị vận tốc trung bình dọc trục tại mặt chuyển tiếp với các tổ hợp số vòng quay chân vịt và góc bẻ lái khác nhau (n_i, α_i), theo số liệu của M/V TAN CANG FOUNDATION;

- Xây dựng mô hình lưới động cho đối tượng vật thể chuyển động trong môi trường chất lỏng. Từ đó áp dụng cụ thể cho tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, để xây dựng quỹ đạo chuyển động tối ưu theo các tổ hợp (n_i, α_i) tương ứng trên tuyến luồng Hải Phòng.

6.2. Về thực tiễn khoa học chuyên ngành hàng hải:

- Xây dựng mô hình nghiên cứu thực tế tại 4 khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng. Đồng thời xây dựng quy trình tính toán, tính toán mô phỏng tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy cho từng mô hình nghiên cứu thực tế, ứng với tổ hợp chân vịt - bánh lái khác nhau;

- Lựa chọn và đưa ra các tổ hợp chân vịt - bánh lái tối ưu tại các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng. Từ đó, đề xuất cụ thể phương án điều động tàu thủy, nhằm khuyến cáo hoa tiêu và thuyền trưởng chủ động dẫn tàu an toàn qua các khu vực này;

- Thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống thí nghiệm, để kiểm chứng kết quả tính toán mô phỏng sự tương tác tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy, thông qua giá trị vận tốc trung bình dọc trục tại bề mặt chuyển tiếp. Mặt khác, đưa ra kết quả tổng hợp sau nhiều lần nghiên cứu khảo sát và đi thực tế trên tàu M/V TAN CANG FOUNDATION tại thực địa tuyến luồng Hải Phòng, để phân tích, đánh giá, so sánh và kiểm chứng phần kết quả bám theo quỹ đạo chuyển động cho trước.

7. Kết cấu của luận án

Luận án gồm 141 trang A4 (không kể phụ lục) và thứ tự các phần như sau: Mở đầu; nội dung (chia thành 4 chương); kết luận và kiến nghị; danh mục các công trình khoa học đã công bố liên quan đến luận án (07 công trình); tài liệu tham khảo (66 tài liệu) và phụ lục (05 phụ lục).

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI HẢI PHÒNG VÀ CƠ SỞ LÝ LUẬN TỔ HỢP CHÂN VỊT - BÁNH LÁI TÀU THỦY

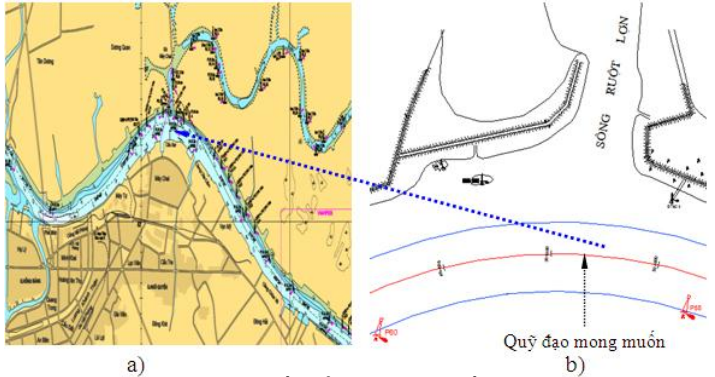
Chương 1 tập trung nghiên cứu tổng quan tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và cơ sở lý luận tổ hợp chân vệt - bánh lái tàu thủy, với các nhiệm vụ tóm tắt như sau:

Tổng quan tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, gồm vấn đề cơ bản liên quan đến:

Phân tích đặc điểm tuyến luồng hàng hải Hải Phòng; Hệ thống phao, tiêu báo hiệu hàng hải và hệ thống bảo đảm an toàn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng; Đặc điểm hoạt động hàng hải tuyến luồng Hải Phòng; Tổng hợp, phân tích, đánh giá tình hình tai nạn và tính chất tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng giai đoạn 2011 - 2016.

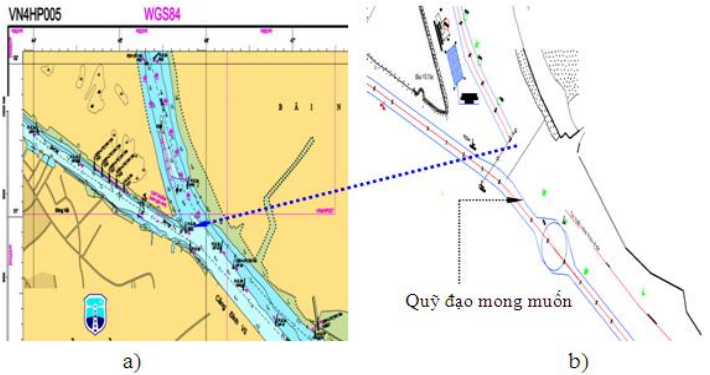
Phân tích chi tiết đặc điểm 4 khu vực (I, II, III, IV) tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng, thứ tự từ cảng Hải Phòng đến phao số 0:

- Khu vực I (hình 1.1): Giao nhau giữa sông Cẩm và sông Ruột Lợn. Khu vực hẹp, nhiều bãi bồi gần cửa sông Ruột Lợn, một bên là hệ thống cầu cảng Hải Phòng. Độ sâu luồng rất hẹp và biến đổi phức tạp. Phương tiện thủy thường xuyên cắt ngang từ sông Ruột Lợn vào sông Cẩm và ngược lại. Dễ gây va chạm hoặc bị mắc cạn phía bờ sông.



Hình 1.1. Khu vực I - tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải: a) từ bình đồ số VN4HP007; b) theo phần mềm chuyên dụng

- Khu vực II (hình 1.2): Giao nhau giữa sông Cẩm và sông Bạch Đằng. Khu vực có nhiều bãi bồi phía gần cửa sông Bạch Đằng. Mật độ tàu và phương tiện thủy hoạt động dày đặc, tính chất giao thông thủy phức tạp, các phương tiện đổi hướng, cắt hướng thường xuyên và không tuân thủ quy tắc. Vận tốc dòng 2 - 3 knots. Khi thủy triều dâng, luôn có xu hướng đẩy hướng chuyển động của tàu sang phía bờ bên Thủy Nguyên.



Hình 1.2. Khu vực II - tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải: a) từ bình đồ số VN4HP005; b) theo phần mềm chuyên dụng

- Khu vực III (hình 1.3): Là khu vực Bạch Đằng, giao nhau của các tuyến

luồng sông Cấm, Nam Triệu, Cái Tráp và kênh Hà Nam, nhiều khu vực nông cạn phía đảo Đình Vũ và cửa sông Bạch Đằng. Khu vực này có mật độ tàu, phương tiện tham gia giao thông đông đúc và phức tạp. Nhiều phương tiện thủy hoạt động không đúng tuyến luồng quy định, thường xuyên cắt ngang để vào kênh Cái Tráp (đặc biệt đoạn phao 30 - 32). Hơn nữa, đây là khu vực dòng chảy siết và không ổn định, khu neo đậu, khu vực ga tránh, bến phà hoạt động,...

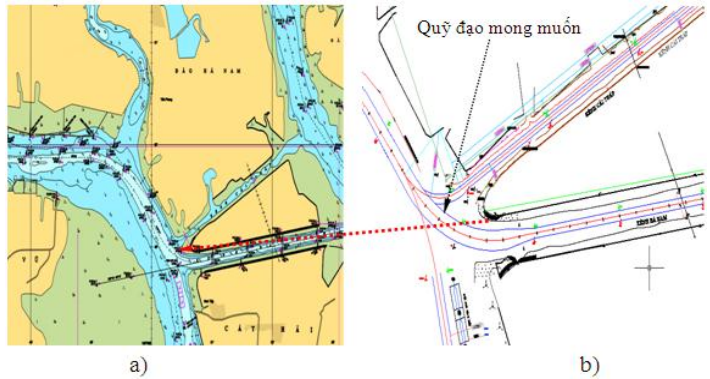
- Khu vực IV (hình 1.4): Giao nhau giữa kênh Hà Nam, kênh Cái Tráp và đường thủy nội địa đến Quảng Ninh (qua

Cái Bàu). Nhiều tàu nội địa, sà lan và phương tiện thủy đi vào kênh Cái Tráp, cắt ngang luồng (đặc biệt tại các cặp phao 19 - 21 - 23). Khu vực này có nhiều tàu biển cỡ lớn qua đoạn luồng Lạch Huyện, dòng chảy khá mạnh vận tốc đạt 3 knots và không ổn định, mật độ giao thông lớn, đan xen tàu biển và phương tiện thủy nội địa ra, vào kênh Cái Tráp và kênh Hà Nam, gia tăng nguy cơ mất an toàn cho tàu thuyền khi hành trình qua khu vực.

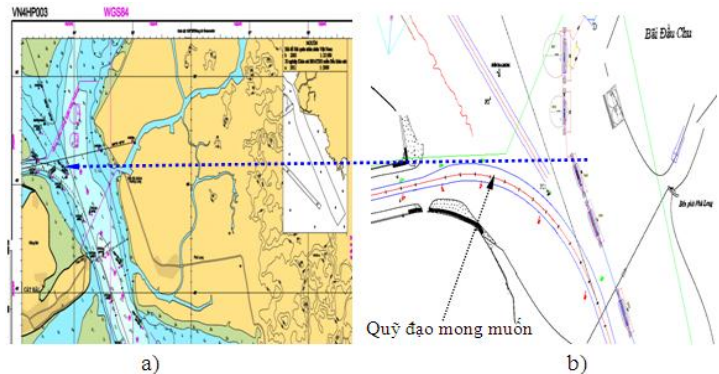
Hệ thống hóa cơ sở lý luận tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy, gồm các vấn đề:

- Bánh lái và chân vịt tàu thủy; Chiều quay chân vịt và ảnh hưởng của chiều quay chân vịt; Phân tích lực tác động lên bánh lái và chân vịt tàu thủy; Các dòng nước sinh ra khi chân vịt hoạt động; Hiệu ứng của chân vịt ảnh hưởng tới đặc tính điều động tàu thủy;
- Vai trò tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy; Mọi quan hệ của tổ hợp chân vịt - bánh lái; Ảnh hưởng của chân vịt và bánh lái đến điều động tàu thủy.

Hệ thống hóa cơ sở toán học về chuyển động tàu thủy: Phân tích rõ thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu thủy; Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy ở mọi vị trí với 6 bậc tự do; Phương trình toán mô tả chuyển động trên mặt phẳng ngang của tàu thủy với 3 bậc tự do.



Hình 1.3. Khu vực III - tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải: a) từ bình đồ số VN4HP005; b) theo phần mềm chuyên dụng



Hình 1.4. Khu vực IV - tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải: a) từ bình đồ số VN4HP003; b) theo phần mềm chuyên dụng

Kết luận chương 1: Từ kết quả đạt được trong chương 1, đặc biệt khảo sát, phân tích và đánh giá chi tiết 4 khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải, nhận xét rằng:

- Thực tế, nhiều vụ tai nạn hàng hải do mắc cạn, đâm va đã xảy ra trên các khu vực này. Một trong những nguyên nhân cơ bản dẫn đến các tai nạn, do thuyền trưởng hoặc hoa tiêu điều khiển tàu không đi đúng quỹ đạo mong muốn của tuyến luồng hàng hải;

- Từ các số liệu và mô hình quan trọng tại 4 khu vực này, luận án thực hiện các vấn đề nghiên cứu liên quan trong các chương tiếp theo, nhằm đưa ra những tổ hợp chân vịt - bánh lái tối ưu. Từ đó, khuyến cáo thuyền trưởng, hoa tiêu chủ động và lựa chọn phương án dẫn tàu phù hợp nhất khi qua khu vực này, đảm bảo tàu bám theo quỹ đạo cho trước;

- Đưa ra giới hạn vấn đề nghiên cứu cụ thể của luận án.

CHƯƠNG 2. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC DÒNG CHẢY SAU CHÂN VỊT VÀ TƯƠNG TÁC BÁNH LÁI TÀU THỦY

Chương 2 tập trung tính toán mô phỏng động lực học dòng chảy sau chân vịt và tương tác bánh lái tàu thủy, thực hiện các vấn đề sau: Lý thuyết về dòng chảy bao quanh chân vịt và bánh lái tàu thủy; Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học; Xây dựng quy trình thực hiện tính toán mô phỏng; Ứng dụng CFD tính toán mô phỏng, từ đó phân tích, đánh giá kết quả.

Dòng chảy bao quanh chân vịt và bánh lái:

Đã phân tích lý thuyết về dòng chảy và mô hình dòng chảy bao quanh chân vịt - bánh lái tàu thủy.

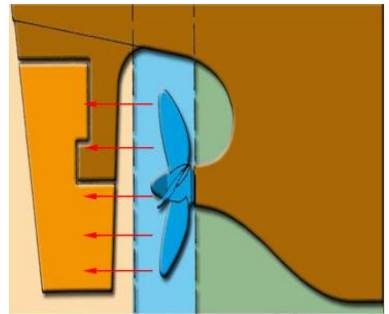
Khi tàu thủy hoạt động, với diện tích mặt tiếp xúc của bánh lái là cố định, khi đó lực bẻ lái chỉ phụ thuộc vào hai thông số là vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái và góc bẻ lái (ký hiệu α_i). Vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái chính là vận tốc dòng sau chân vịt, phụ thuộc chặt chẽ số vòng quay chân vịt (ký hiệu n_i). Như vậy, tổ hợp chân vịt - bánh lái (n_i, α_i) sẽ quyết định giá trị lực bẻ lái tàu thủy (R).

Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học

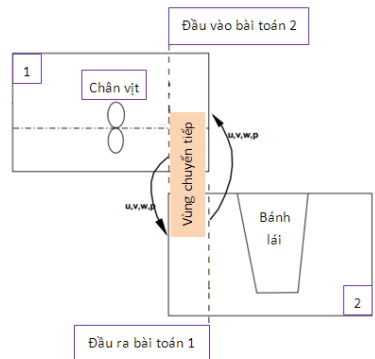
học: Mô hình nghiên cứu được xây dựng chung và phù hợp tất cả tàu thủy, mô tả theo hình 2.2.

- Thực chất là thực hiện bài toán động lực học dòng chảy bao quanh chân vịt tàu thủy để xác định các đại lượng tại mặt chuyển tiếp, như: Vận tốc, áp suất, cường độ rối,... đây chính là các đại lượng đầu ra (bài toán 1). Qua mặt (vùng) chuyển tiếp tương tác giữa chân vịt và bánh lái, thì đại lượng đặc trưng đầu ra, chính là đầu vào bài toán dòng chảy bao quanh bánh lái và ảnh hưởng tới hiệu quả biến đổi năng lượng dòng chảy thành lực bẻ lái (bài toán 2).

- Tuy nhiên, tập trung nghiên cứu tính toán mô phỏng đại lượng vận tốc trung bình dọc trục. Từ đó đưa ra khuyến cáo việc vận hành tổ hợp (n_i, α_i).



Hình 2.1. Mô hình dòng chảy bao quanh chân vịt - bánh lái tàu thủy



Hình 2.2. Mô hình nghiên cứu “vùng chuyển tiếp” chân vịt - bánh lái

Liên quan đến cơ sở toán học cần chú ý một số phương trình cơ bản sau:

- Phương trình liên tục, mô tả quỹ đạo chuyển động phần tử chất lỏng:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

- Phương trình Navier - Stokes, mô tả chuyển động phần tử chất lỏng:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \vec{V} \quad (2.2)$$

Trong đó: $\vec{V}(u, v, w)$ - véc tơ vận tốc phần tử chất lỏng; \vec{F} - lực khối (N); ρ - khối lượng riêng chất lỏng (kg/m^3); ν - hệ số nhớt động học; P - áp suất (N/m^2); Δ - toán tử Laplace.

- Phương trình xác định lực đẩy chân vịt tàu thủy có dạng:

$$T = \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \left(\frac{V_p}{nD} \right)^c \left(\frac{\eta}{\rho n D^2} \right)^f \left(\frac{p_0 - e}{\rho n^2 D^2} \right)^g \quad (2.3)$$

Trong đó: D - đường kính chân vịt (m); V_p - vận tốc tàu (knot, m/s); n - vòng quay chân vịt (rpm); ρ - khối lượng riêng của chất lỏng; $(p_0 - e)$ - áp suất tĩnh trên trục chân vịt (N/m^2).

Hệ số lực đẩy: $K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (2.4);$

Hệ số tiến: $J = \frac{V_p}{n \cdot D} \quad (2.5)$

Số Reynolds: $Rn = \frac{\rho n D^2}{\eta} \quad (2.6);$

Hệ số mô men quay: $K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (2.7);$

Lực đẩy có dạng: $T = K_T \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (2.8);$

Mô men quay: $Q = K_Q \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \quad (2.8)$

Công suất cần thiết để quay chân vịt:

$$P = \frac{Q \cdot \omega}{75} = \frac{2\pi}{75} K_Q \rho n^3 D^5 \quad (2.9)$$

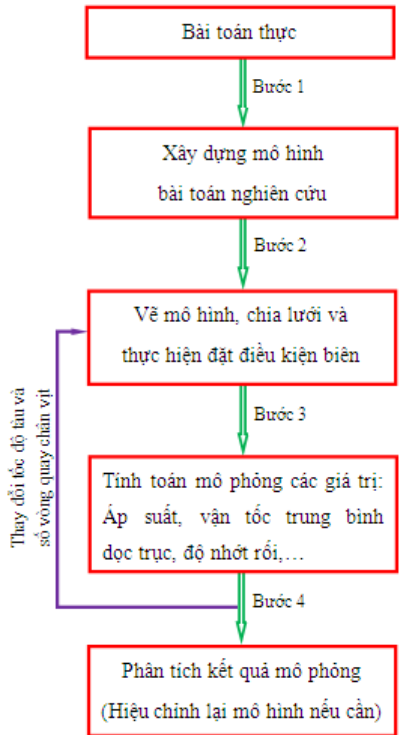
Hiệu suất làm việc chân vịt: $\eta_p = \frac{K_T}{K_Q} \frac{J}{2\pi} \quad (2.10)$

Để thực hiện tính toán mô phỏng trong luận án sử dụng chương trình CFD với phần mềm chuyên dụng Fluent - Ansys và phương pháp sử dụng là “thể tích hữu hạn”.

Xây dựng quy trình và phương án thực hiện tính toán mô phỏng:

- Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng: Thông qua chi tiết 4 bước thực hiện theo hình 2.3.

Lựa chọn số liệu đồng dạng chân vịt và bánh lái từ M/V TAN CANG FOUNDATION, thực hiện xây dựng bản vẽ 3D chân vịt bằng phần mềm Solidwork, theo tỷ số đồng dạng hình học là



Hình 2.3. Quy trình thực hiện tính toán mô phỏng

$k = 10$. Đồng thời, chia lưới mô hình tính toán, triển khai trên phần mềm Workbench, kết quả nhận được và sử dụng là 1,4 triệu ô lưới (hình 2.4). Điều kiện biên: Đầu vào là giá trị vận tốc được tính toán trước, đầu ra là áp suất tĩnh. Sử dụng kỹ thuật tính toán mô phỏng được lựa chọn là $(k - \epsilon)$ trong Fluent - Ansys.

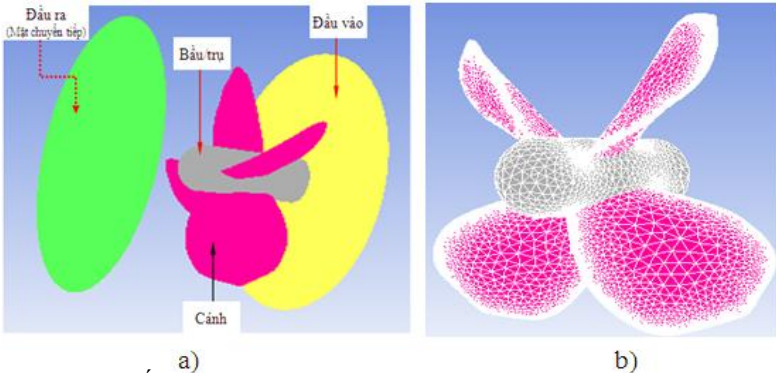
- Phương án thực hiện tính toán mô phỏng cho 2 bài toán cụ thể: Lựa chọn mô hình nghiên cứu được đồng dạng với bài toán thực theo tiêu chuẩn Froude.

Theo tiêu chuẩn này, mô hình nghiên cứu và mô hình thực gọi là đồng dạng với nhau khi cùng số Froude, nghĩa là thỏa mãn điều kiện:
$$F_n = \frac{V^2}{Lg} \quad (2.11)$$

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

Khi đó:
$$\frac{(V_p)_t}{g_t D_t} = \frac{(V_p)_m}{g_m D_m} \text{ với } g_t = g_m = g.$$

Vậy vận tốc và vòng quay chân vịt mô hình là: $(V_p)_m = (V_p)_t \sqrt{\frac{D_m}{D_t}}$, $(n)_m = (n)_t \sqrt{\frac{D_t}{D_m}}$.



Hình 2.4. Kết quả tính toán mô phỏng: a) bản vẽ 3D chân vịt; b) chia ô lưới trên cánh và bầu chân vịt của M/V TAN CANG FOUNDATION

Từ mô hình nghiên cứu theo hình 2.2, sử dụng 7 thông số vòng quay chân vịt và vận tốc thực tế tương ứng của M/V TAN CANG FOUNDATION, tiến hành tính toán mô phỏng tương tác giữa chân vịt và bánh lái tàu thủy, cụ thể cho 2 bài toán như sau:

Bài toán 1: Tính toán mô phỏng, phân tích và làm rõ các đại lượng đặc trưng tại mặt chuyển tiếp: Vận tốc trung bình dọc trục, cường độ rối, áp suất,... cho các trường hợp tương ứng với số vòng quay chân vịt và vận tốc thực như sau:

$$n_t = \{90; 100; 110; 120; 130; 140; 150\}, \text{ (rpm)}$$

$$(V_p)_t \approx \{4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5\}, \text{ (m/s)}$$

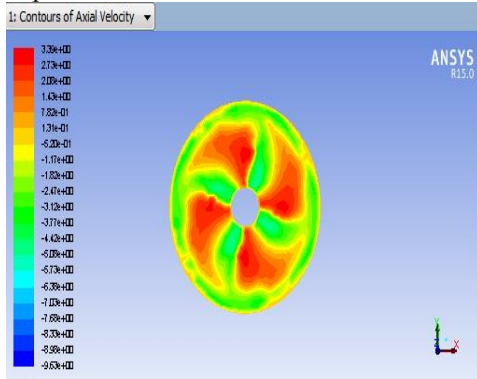
Bài toán 2: Trên cơ sở kết quả nhận được của bài toán 1, tương ứng với số vòng quay chân vịt và vận tốc thực, với góc bẻ lái α^0 ở 8 vị trí khác nhau:

$$\alpha^0 = \{0^0; 5^0; 10^0; 15^0; 20^0; 25^0; 30^0; 35^0\}$$

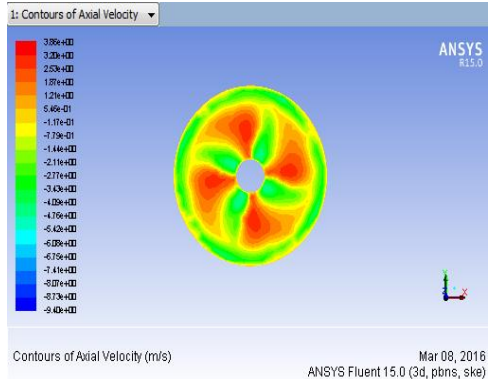
Như vậy, tất cả 56 trường hợp khác nhau để xác định lực bẻ lái $R_i = f(n_i, \alpha_i)$. Từ đó phân tích, đánh giá mối quan hệ giữa vận tốc và vòng quay chân vịt đến lực bẻ lái.

Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng:

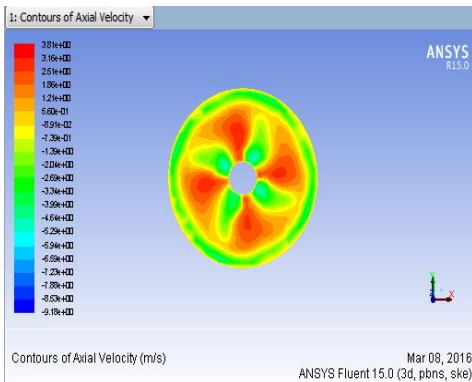
Sử dụng CFD với phần mềm Fluent - Ansys, để tính toán mô phỏng từng trường hợp của bài toán 1. Kết quả nhận được là vận tốc dọc trục tại mặt chuyển tiếp của từng trường hợp mô tả theo hình 2.5.



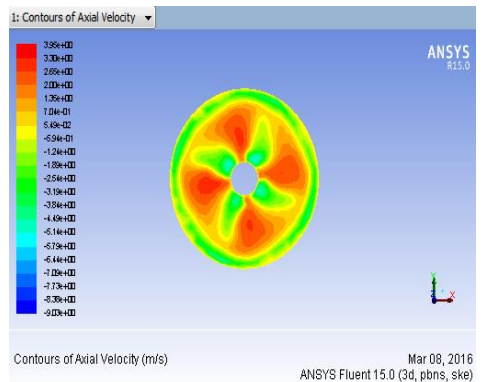
a) $n = 90$ rpm



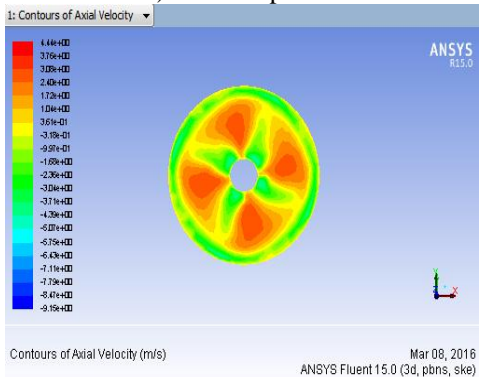
b) $n = 100$ rpm



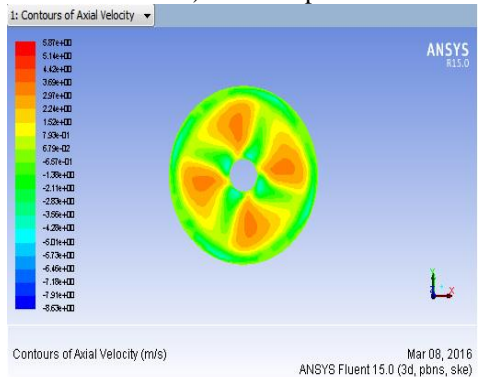
c) $n = 110$ rpm



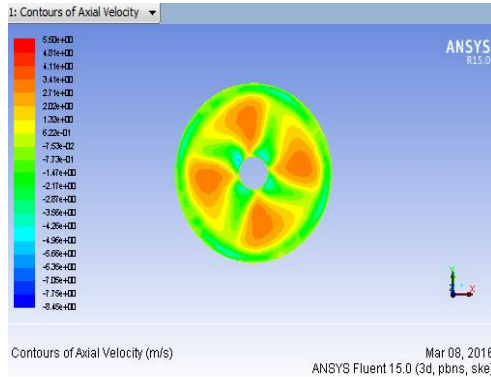
d) $n = 120$ rpm



e) $n = 130$ rpm



g) $n = 140$ rpm



h) $n = 150 \text{ rpm}$

Hình 2.5. Kết quả tính toán mô phỏng giá trị vận tốc dọc trục tại mặt chuyên tiếp. Hơn nữa, giá trị vận tốc bao quanh bánh lái được xác định theo công thức:

$$V = (V_p)_t + (V_{tb})_n \quad (2.12)$$

Trong đó: $(V_p)_t$ - vận tốc thực của tàu; $(V_{tb})_n$ - vận tốc trung bình tại mặt chuyên tiếp.

Từ kết quả trong hình 2.5, hoàn toàn tính được giá trị vận tốc trung bình dọc trục tại mặt chuyên tiếp, kết hợp (2.12) đưa ra kết quả mô tả trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Kết quả tính toán vận tốc dọc trục bao quanh bánh lái theo Fluent - Ansys

TT	Số vòng quay chân vịt (n_i), (rpm)	Vận tốc thực của tàu (V_p) _t , (m/s)	Vận tốc trung bình tại mặt chuyên tiếp (V_{tb}) _n , (m/s)	Vận tốc dọc trục bao bánh lái (V), (m/s)
1	90	4,5	1,42	5,92
2	100	5,0	1,64	6,64
3	110	5,5	1,72	7,22
4	120	6,0	1,90	7,90
5	130	6,5	2,10	8,60
6	140	7,0	2,52	9,52
7	150	7,5	2,70	10,02

Sau khi có kết quả tính toán mô phỏng chi tiết của bài toán 1, tiếp tục tính toán cho bài toán 2, tức là trường hợp dòng chảy bao quanh bánh lái tàu thủy. Từ đó xác định lực bẻ lái R tương ứng được xác định theo công thức: $R = 577A_R V^2 \sin \alpha$ (2.13)

Trong đó: α - góc bẻ lái; A_R - diện tích tham chiếu bánh lái, có giá trị $A_R = 12 \text{ m}^2$ (theo hồ sơ tàu M/V TAN CANG FOUNDATION); V - vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái.

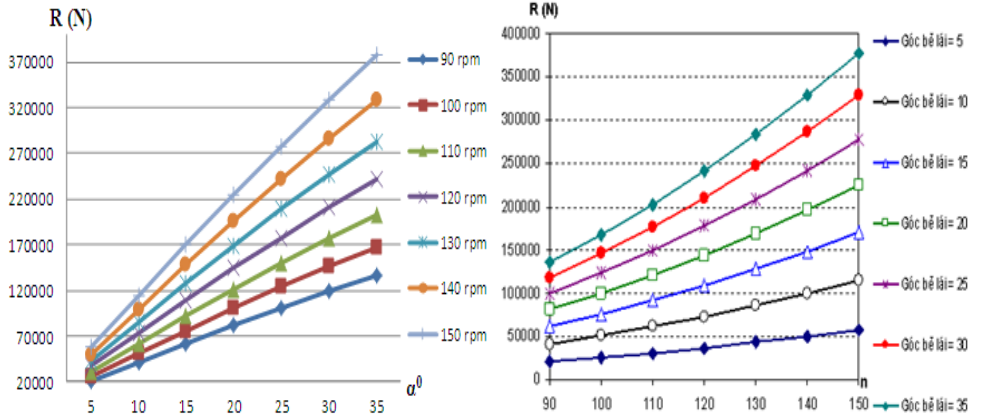
Kết quả tính toán lực bẻ lái R với các tổ hợp (n_i , α_i) theo (2.13), mô tả tại bảng 2.2.

Bảng 2.2. Kết quả tính toán lực bẻ lái R với vận tốc V tính theo Fluent - Ansys

n_i (rpm)	Giá trị góc bẻ lái α_i						Giá trị lực bẻ lái R_i	
	0^0	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
90	0	20641,69	41126,43	61298,5	81004,53	100094,7	118423,8	135852,6
100	0	25483,56	50773,37	75677,16	100005,6	123573,7	146202,2	167719,3

110	0	30835,11	61435,78	91569,37	121006,8	149524,1	176904,7	202940,3
120	0	36696,33	73113,66	108975,1	144008,1	177946,1	210531,3	241515,8
130	0	43067,22	85807,00	127894,4	169009,4	208839,5	247081,8	283445,5
140	0	49947,78	99515,80	148327,2	196010,9	242204,4	286556,4	328729,7
150	0	57338,02	114240,1	170273,6	225012,6	278040,8	328955,1	377368,4

Từ bảng 2.2 xây dựng đồ thị quan hệ lực bẻ lái R với các tổ hợp (n_i, α_i) , theo hình 2.6.



Hình 2.6. Đồ thị mô tả mối quan hệ giữa lực bẻ lái R với các tổ hợp (n_i, α_i) khác nhau

Phân tích kết quả từ bảng 2.3 và hình 2.6, nhận xét rằng:

- Đồ thị là đường thẳng tuyến tính. Lực bẻ lái R tỷ lệ thuận với tổ hợp (n_i, α_i) . Nghĩa là, khi tăng giá trị góc bẻ lái hoặc giá trị vòng quay, thì lực bẻ lái R cũng tăng theo;

- Cùng giá trị vòng quay chân vịt, chẳng hạn $n = 100$ rpm, khi thay đổi góc bẻ lái, thì lực bẻ lái R cũng thay đổi và tăng theo, cụ thể:

Khi $\alpha^0 = 5^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 25483,65 N;

Khi $\alpha^0 = 10^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 50773,37 N;

Khi $\alpha^0 = 15^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 75677,16 N;

Khi $\alpha^0 = 20^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 100005,6 N;

Khi $\alpha^0 = 25^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 123573,7 N;

Khi $\alpha^0 = 30^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 146202,2 N;

Khi $\alpha^0 = 35^0$, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 167719,3 N.

- Cùng giá trị góc bẻ lái, chẳng hạn $\alpha^0 = 10^0$, khi thay đổi vòng quay chân vịt khác nhau, thì lực bẻ lái R cũng thay đổi và tăng theo, cụ thể:

Khi $n = 90$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 41126,43 N;

Khi $n = 100$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 50773,37 N;

Khi $n = 110$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 61435,78 N;

Khi $n = 120$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 73113,66 N;

Khi $n = 130$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 85807,00 N;

Khi $n = 140$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 99515,80 N;

Khi $n = 150$ rpm, giá trị lực bẻ lái R tăng và đạt 114240,10 N.

- Cùng giá trị lực bẻ lái R, có thể có nhiều tổ hợp (n_i, α_i) thỏa mãn, chẳng hạn:

Khi $R = 200.000$ N, có tới 5 tổ hợp (n_i, α_i) thỏa mãn;

Khi $R = 250.000$ N, có tới 3 tổ hợp (n_i, α_i) thỏa mãn.

Như vậy, có nhiều tổ hợp chân vịt - bánh lái lựa chọn phù hợp, giúp thuyền trường, hoa tiêu điều động tàu, đặc biệt khi quan các khu vực nguy hiểm trong luồng hàng hải.

Kết luận chương 2: Trong chương 2 luận án đạt được các kết quả cơ bản sau:

- Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học liên quan để thực hiện tính toán và mô phỏng sự tương tác dòng chảy sau chân vịt và bánh lái tàu thủy;

- Tính toán mô phỏng sự tương tác dòng chảy sau chân vịt và bánh lái tàu thủy, ứng dụng hiệu quả CFD, đặc biệt với phần mềm Fluent - Ansys, nhận được các đại lượng đặc trưng tại mặt chuyên tiếp, như: Vận tốc, áp suất, cường độ rối,..., đặc biệt tập trung nghiên cứu tính toán mô phỏng giá trị vận tốc trung bình dọc trục tại mặt chuyên tiếp tương ứng với các trường hợp số vòng quay chân vịt khác nhau.

- Tính toán chi tiết lực bẻ lái R theo các tổ hợp (n_i, α_i) với các phương án khác nhau bằng phương pháp mô phỏng (ký hiệu $R_{\text{mô phỏng}}$). Phân tích, đánh giá và lựa chọn tổ hợp (n_i, α_i) phù hợp, giúp thuyền trường, hoa tiêu tự tin điều động tàu, đặc biệt qua khu vực tiềm ẩn nguy cơ tai nạn hàng hải, đảm bảo tàu bám sát quỹ đạo cho trước.

CHƯƠNG 3. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG TÁC ĐỘNG CỦA TỔ HỢP CHÂN VỊT - BÁNH LÁI ĐẾN ĐIỀU KHIỂN HƯỚNG ĐI TÀU THỦY TRÊN TUYẾN LUỒNG HẢI PHÒNG

Chương 3 tập trung giải quyết các vấn đề sau: Mô hình lưới động; Xây dựng mô hình nghiên cứu cho 4 khu vực nêu trên; Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng và thực hiện tính toán mô phỏng tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy trên tuyến luồng; Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng, từ đó đề xuất phương án điều động, đảm bảo an toàn qua 4 khu vực tiềm ẩn mất an toàn hàng hải.

Mô hình lưới động: Hình ảnh lưới chia lại sau mỗi bước thời gian thay đổi, bởi mỗi bước thời gian vị trí tàu thay đổi, thì lưới phải được tự động chia lại và các thông số động lực học thay đổi theo. Điều này giúp khảo sát quỹ đạo chuyển động của tàu với điều kiện biên gần thực tế và chính xác hơn. Sử dụng thuật toán lưới động thuộc Fluent - Ansys, kết hợp ngôn ngữ lập trình C++ để thiết lập đặc tính của vật thể, sau đó biên dịch và đưa vào thư viện phần mềm để tính toán mô phỏng (hình 3.1).

Xây dựng mô hình nghiên cứu cho 4 khu vực I, II, III, IV tuyến luồng Hải Phòng:

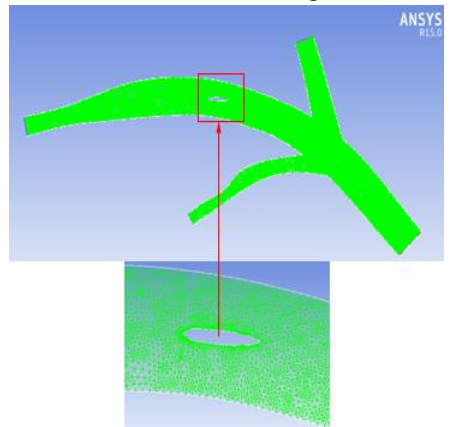
Mô hình nghiên cứu đồng dạng với mô hình thực tế khảo sát cho 8 trường hợp của 4 khu vực trên tuyến luồng Hải Phòng, theo chiều từ cảng chính Hải Phòng (HPP) ra khu đón trả hoa tiêu (PS) và ngược lại, cụ thể:

Trường hợp 1 (HPP1 → PS1) và trường hợp 2 (PS1 → HPP1) áp dụng khu vực I.

Trường hợp 3 (HPP2 → PS2) và trường hợp 4 (PS2 → HPP2) áp dụng khu vực II.

Trường hợp 5 (HPP3 → PS3) và trường hợp 6 (PS3 → HPP3) áp dụng khu vực III.

Trường hợp 7 (HPP4 → PS4) và trường hợp 8 (PS4 → HPP4) áp dụng khu vực IV.

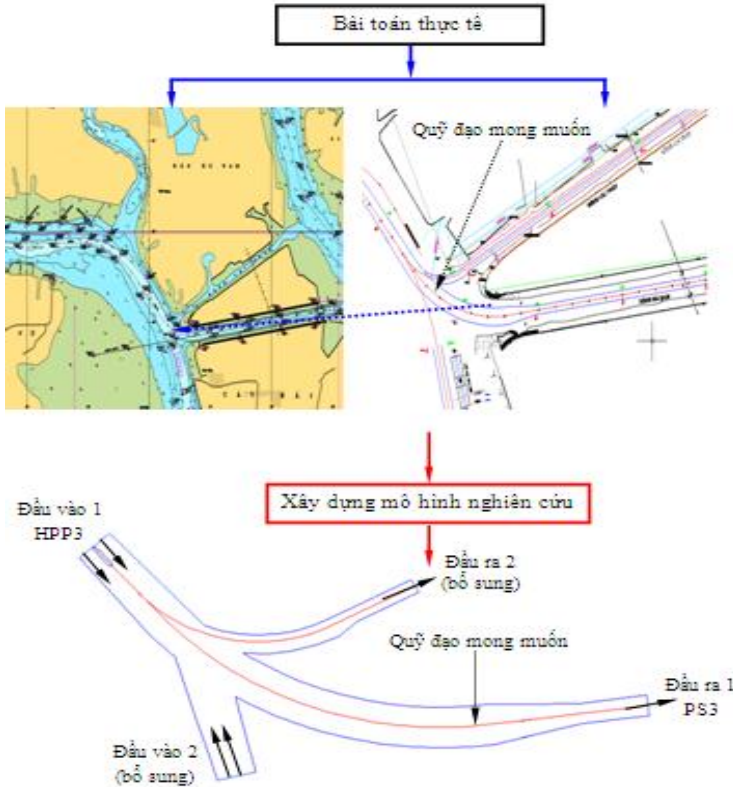


Hình 3.1. Kết quả mô phỏng mô hình lưới động trường hợp 5 khu vực III

Trong luận án đã xây dựng mô hình nghiên cứu chi tiết của từng trường hợp của 4 khu vực với các tham số đầu vào, đầu ra và tham số bổ sung, trong đó có xét tới ảnh hưởng của dòng chảy, kể cả dòng từ nhánh sông và giới hạn không xét tới ảnh hưởng của sóng và gió.

Đồng thời, lựa chọn các tham số vận tốc tàu, số vòng quay chân vịt theo M/V TAN CANG FOUNDATION khi tàu chở đầy tải (khi tàu không tải hay nửa tải, thì quy trình thực hiện tương tự). Giá trị góc bẻ lái thay đổi theo $\alpha^0 = \{-5^0; -10^0 - 15^0, 0^0, 5^0, 10^0, 15^0\}$.

Trong 8 trường hợp giới hạn của 4 khu vực I, II, III và IV đã phân tích trong chương 1, thì khu vực III (tức là trường hợp 5), tính chất nguy hiểm và phức tạp hơn cả, đây là khu vực có xác suất tiềm ẩn nguy cơ tai nạn hàng hải cao nhất trên tuyến luồng (hình 3.2).

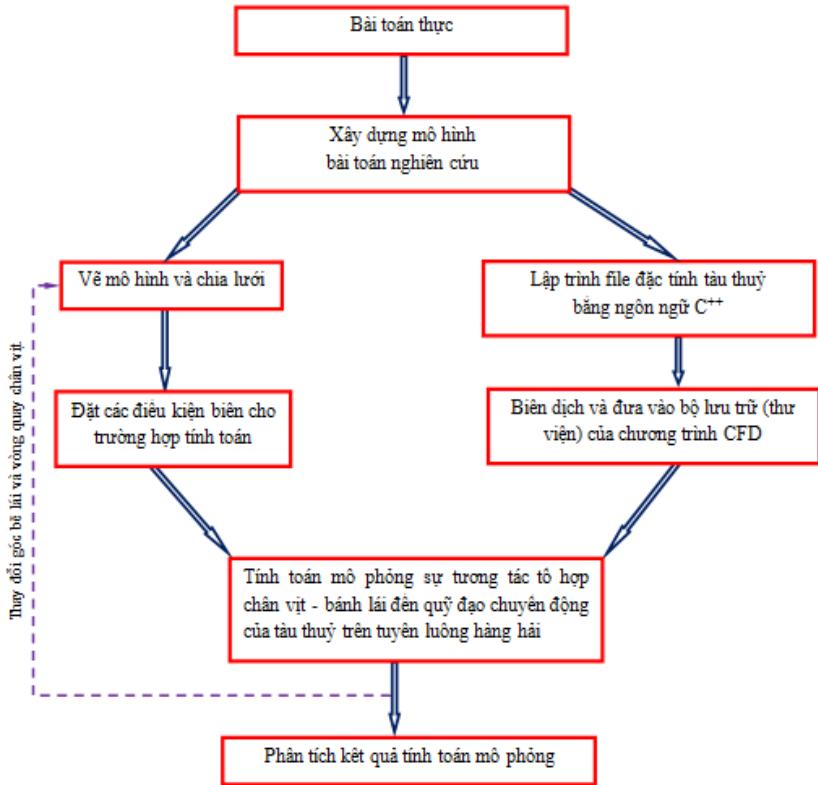


Hình 3.2. Xây dựng mô hình nghiên cứu cho trường hợp 5 của khu vực III

Vì vậy, tập trung tính toán mô phỏng, phân tích, đánh giá và lựa chọn tổ hợp (n_i, α_i) tối ưu của trường hợp 5 (gọi là trường hợp mẫu), sao cho quỹ đạo chuyển động tàu bám sát với quỹ đạo mong muốn. Từ đó đề xuất phương án điều động tàu qua khu vực nguy hiểm này. Bảy trường hợp còn lại, quy trình tính toán mô phỏng, phân tích, đánh giá và lựa chọn tổ hợp (n_i, α_i) tối ưu, được tiến hành thực hiện tương tự trường hợp 5 và đã được trình bày chi tiết trong luận án.

Xây dựng quy trình và thực hiện tính toán mô phỏng tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy đối với trường hợp 5 khu vực III:

Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng theo sơ đồ khối sau hình 3.3.

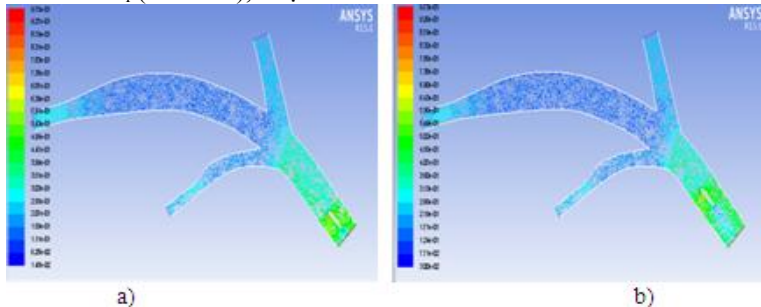


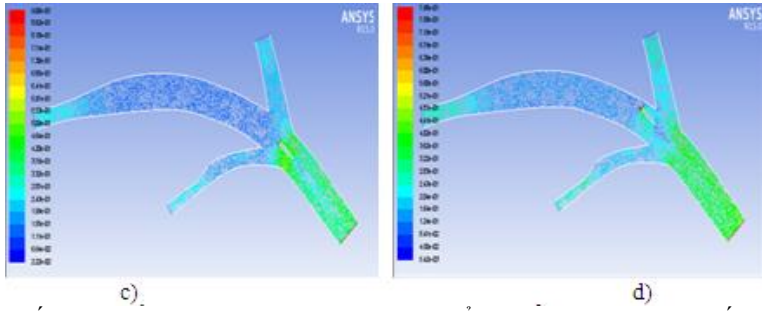
Hình 3.3. Sơ đồ khối quy trình tính toán mô phỏng

Tính toán mô phỏng tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy đối với trường hợp 5 khu vực III. Có thể chia thành các giai đoạn điều động khác nhau, ký hiệu là ĐĐ_i ($i = 1 \div n$), đối với trường hợp này thì $n = 3$.

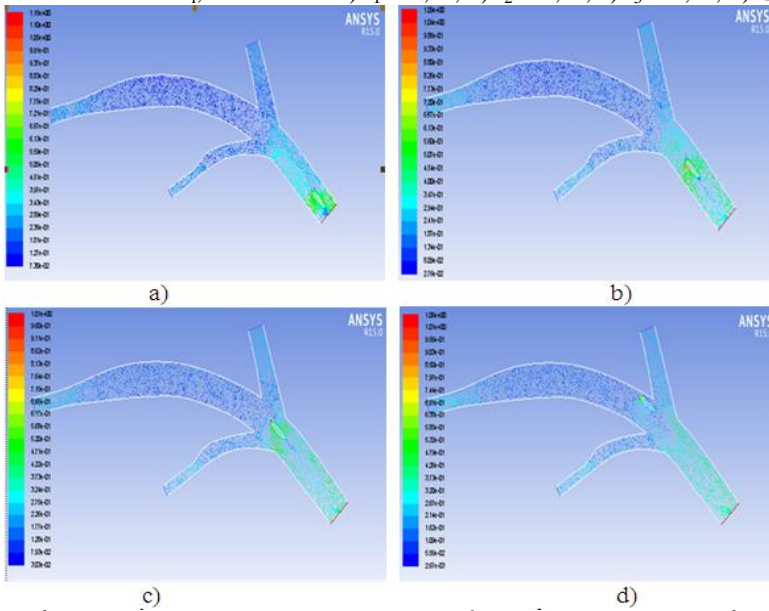
Giai đoạn điều động tàu ĐĐ₁

Xét trường hợp giữ nguyên vận tốc tàu $V_t = 0,75$ knots (vòng quay chân vịt không đổi), nhưng giá trị góc bê lái α^0 thay đổi. Kết quả mô phỏng tính toán quỹ đạo chuyển động của tàu (vị trí thay đổi của tàu) và thông số động lực học dòng chảy, theo các bước thời gian khác nhau t_i ($i = 1 \div n$), được mô tả từ hình 3.4 đến hình 3.9.

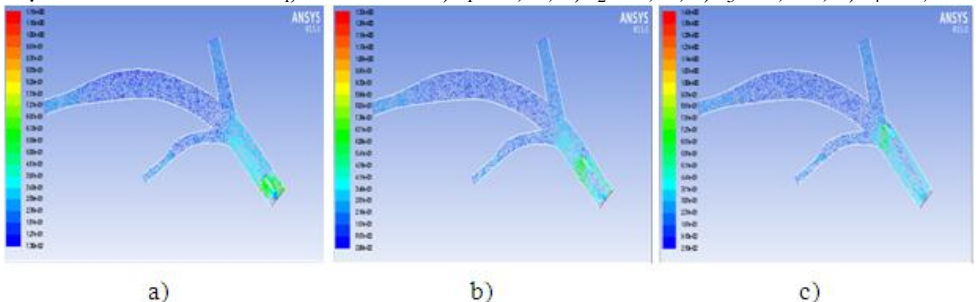




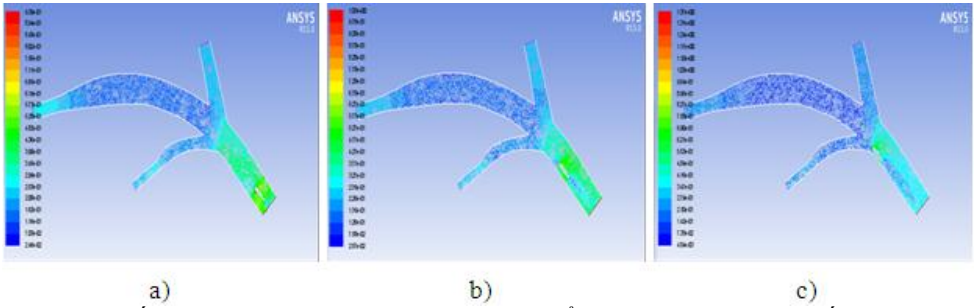
Hình 3.4. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_1 , khi $\alpha^0 = 0^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 2,5s$; c) $t_3 = 6,5s$; d) $t_4 = 9,5s$.



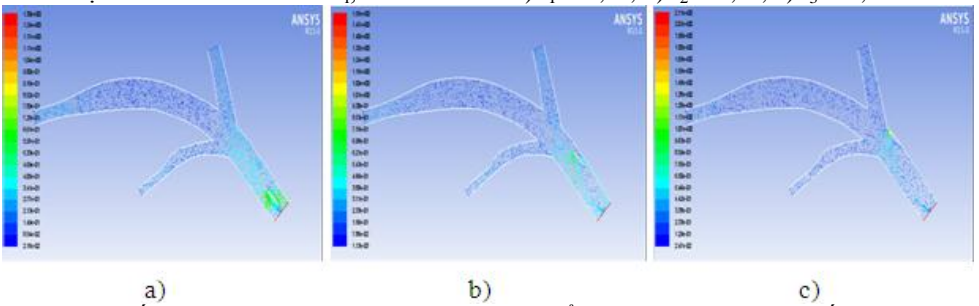
Hình 3.5. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_1 , khi $\alpha^0 = 5^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 3,5s$; c) $t_3 = 6,75s$; d) $t_4 = 9,5s$.



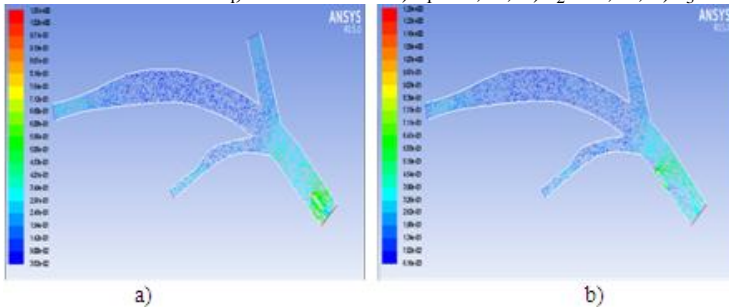
Hình 3.6. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_1 , khi $\alpha^0 = 10^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 2,5s$; c) $t_3 = 6,0s$.



Hình 3.7. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_i , khi $\alpha^0 = -10^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 3,5s$; c) $t_3 = 5,0s$.



Hình 3.8. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_i , khi $\alpha^0 = 15^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 4,0s$; c) $t_3 = 6,0s$.



Hình 3.9. Kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu và vận tốc dòng chảy tại thời điểm khác nhau t_i , khi $\alpha^0 = -15^0$: a) $t_1 = 0,5s$; b) $t_2 = 3,5s$.

Tổng hợp và phân tích kết quả tính toán mô phỏng từ hình 3.4 đến 3.9 theo bảng 3.1.

Bảng 3.1. Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động của tàu thủy

Góc α^0	Theo bước thời gian t_i ($i = 1 \div n$), (s)				Quỹ đạo chuyển động tàu thủy
$\alpha^0 = -15^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 3,5s$	-	-	Không bám quỹ đạo cho trước
$\alpha^0 = -10^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 3,5s$	$t_3 = 5,0s$	-	Nhanh rời khỏi quỹ đạo cho trước
$\alpha^0 = -5^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 2,5s$	$t_3 = 5,75s$	$t_4 = 8,5s$	Quỹ đạo chuyển động tàu thủy bám quỹ đạo cho trước, nhưng quan sát từ kết quả mô phỏng cho chu kỳ dao động không đều.

$\alpha^0 = 0^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 2,5s$	$t_3 = 6,5s$	$t_4 = 9,5s$	Quy đạo chuyển động tàu thủy bám sát quỹ đạo cho trước nhất. Là trường hợp tối ưu được lựa chọn.
$\alpha^0 = 5^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 3,5s$	$t_3 = 6,75s$	$t_4 = 9,5s$	Tương tự như $\alpha^0 = -5^0$
$\alpha^0 = 10^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 2,5s$	$t_3 = 6,0s$	-	Nhanh rời khỏi quỹ đạo cho trước
$\alpha^0 = 15^0$	$t_1 = 0,5s$	$t_2 = 4,0s$	$t_3 = 6,0s$	-	Nhanh rời khỏi quỹ đạo cho trước

Giai đoạn điều động tàu ĐĐ₂ và ĐĐ₃: Thực hiện tính toán mô phỏng chi tiết tương tự trường hợp ĐĐ₁, giữ nguyên vận tốc chuyển động của tàu $V_t = 0,75$ knots, thay đổi giá trị góc bê lái α^0 . Trên cơ sở căn cứ thực tế quỹ đạo cho trước cả tuyến luồng:

- Đối với ĐĐ₂ xét 2 trường hợp $\alpha^0 = -5^0$ và $\alpha^0 = -10^0$. So sánh kết quả nhận được, thì $\alpha^0 = -10^0$ cho quỹ đạo chuyển động của tàu bám sát với quỹ đạo cho trước nhất, do đó trường hợp này được lựa chọn;

- Đối với ĐĐ₃ xét 2 trường hợp $\alpha^0 = 0^0$ và $\alpha^0 = 5^0$. Phân tích và so sánh kết quả nhận được, thì $\alpha^0 = 0^0$ cho quỹ đạo chuyển động của tàu bám sát với quỹ đạo cho trước nhất, do đó trường hợp này được lựa chọn.

Từ kết quả nhận được, tổng hợp cho ba giai đoạn điều động tàu ĐĐ₁, ĐĐ₂ và ĐĐ₃ của trường hợp 5 khu vực III mô tả theo bảng 3.2 và hình 3.10.

Bảng 3.2. Tổng hợp các tổ hợp chân vịt - bánh lái tối ưu của trường hợp 5 khu vực III

Giai đoạn ĐĐ _i	Tổ hợp tối ưu (n_i, α_i)	Kết quả nhận được
ĐĐ ₁	(110 rpm - 0^0)	Quy đạo chuyển động của tàu thủy bám sát quỹ đạo cho trước nhất.
ĐĐ ₂	(110 rpm - (-10^0))	
ĐĐ ₃	(110 rpm - 0^0)	

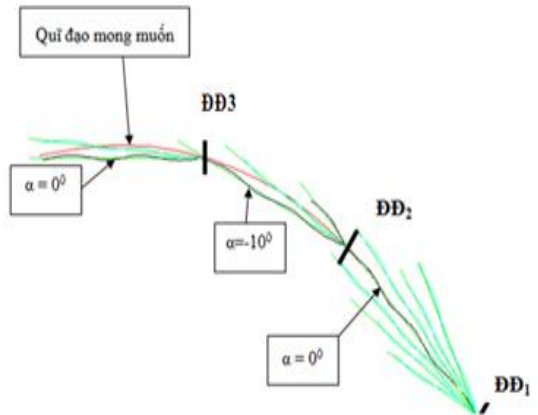
Đề xuất phương án điều động tàu trong trường hợp 5 khu vực III:

Khuyến cáo phương án điều động tàu cho hoa tiêu và thuyền trưởng theo 3 giai đoạn:

- Từ vị trí hiện tại của tàu ở ĐĐ₁ và thời gian hiện tại đã biết t_1 , vận tốc tàu là $V_t = 7,5$ knots ($n = 110$ rpm), hướng đi biết trước, đưa ra khẩu lệnh với góc bê lái ban đầu $\alpha^0 = 0^0$ và thủy thủ lái giữ ổn định trên hướng đi này. Khi tàu chạy được khoảng thời gian $\Delta t = 2$ phút, tương ứng quãng đường $S \approx 0,3$ hải lý, tàu đến vị tại ĐĐ₂.

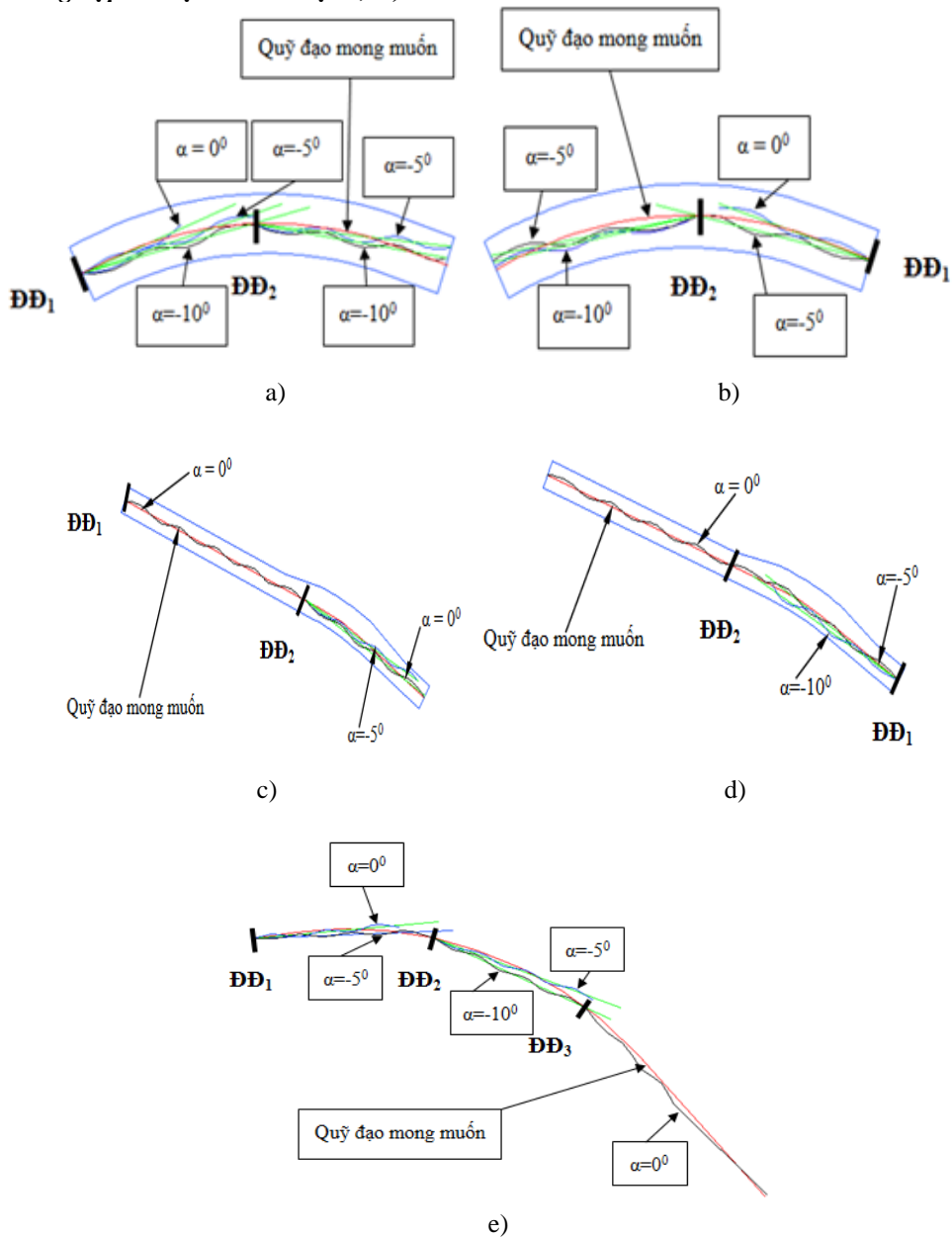
- Từ vị trí hiện tại của tàu ở ĐĐ₂, giữ nguyên số vòng quay chân vịt, đưa ra khẩu lệnh với góc bê lái ban đầu tiếp theo $\alpha^0 = -10^0$ và thủy thủ lái giữ ổn định trên hướng đi này. Khi tàu chạy được khoảng thời gian $\Delta t \approx 1,5$ phút tương ứng quãng đường $S \approx 0,25$ hải lý, đến vị trí tại ĐĐ₃.

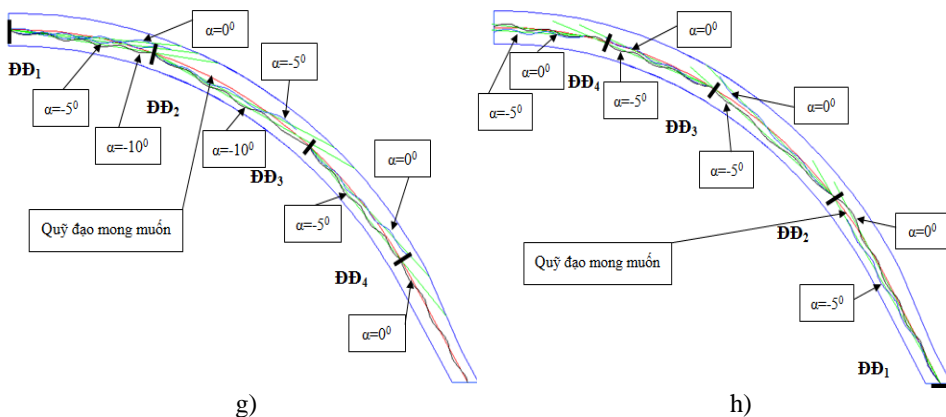
- Từ vị trí tàu hiện tại ở ĐĐ₃, giữ nguyên số vòng quay chân vịt, đưa ra khẩu lệnh với góc bê lái ban đầu tiếp theo $\alpha^0 = 0^0$. Tàu tiếp tục chạy với hướng đi đã định và ra khỏi khu vực an toàn, hành trình trên tuyến luồng Hải Phòng theo kế hoạch.



Hình 3.10. Tổng hợp vị trí của tàu theo góc bê lái α^0 tại ĐĐ₁, ĐĐ₂ và ĐĐ₃ của trường hợp 5

Phân tích kết quả tính toán mô phỏng và đề xuất phương án điều động tàu qua các trường hợp còn lại của khu vực I, II, IV theo hình 3.11.





Hình 3.11. Kết quả tổng hợp vị trí tàu bám quỹ đạo mong muốn với các tổ hợp tối ưu (n_i, α_i), theo thứ tự a, b, c, d, e, g và h là các trường hợp 1, 2, 3, 4, 6 và 7 của các khu vực.

Kết luận chương 3: Các kết quả cơ bản đạt được cụ thể sau:

- Từ nghiên cứu khảo sát thực tế, đã xây dựng mô hình nghiên cứu thực tế tại 4 khu vực tiềm ẩn nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng;
- Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho từng trường hợp với tổ hợp chân vịt và bánh lái khác nhau bằng CFD với phần mềm Fluent - Ansys. Đặc biệt là tính toán mô phỏng mô hình chia lưới động đồng dạng với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION theo bước thời gian thực trong 8 trường hợp của 4 khu vực trên tuyến luồng Hải Phòng;
- Tính toán mô phỏng tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy trong 8 trường hợp của 4 khu vực trên tuyến luồng Hải Phòng. Phân tích, đánh giá và lựa chọn tổ hợp chân vịt - bánh lái tối ưu đối với từng trường hợp. Từ đó, đề xuất phương án điều động tàu qua các khu vực này phù hợp nhất, đảm bảo quỹ đạo chuyển động thật của tàu bám sát với quỹ đạo cho trước của tuyến luồng Hải Phòng.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM: PHÂN TÍCH, SO SÁNH VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

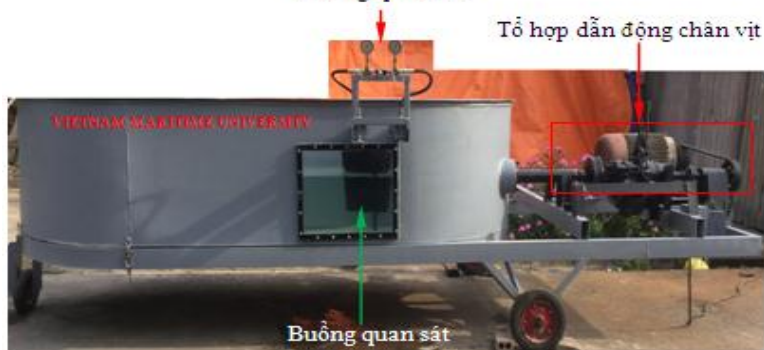
Chương 4 thực hiện nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng kết quả cơ bản đạt được trong chương 2 và chương 3 của luận án, cụ thể như sau:

Đối với thiết kế và chế tạo hệ thống thí nghiệm: Trong luận án đã mô tả hồ sơ chi tiết quy trình, thiết kế, chế tạo và bố trí thiết bị của hệ thống, như:

- Thiết kế và chế tạo một số thiết bị chính của hệ thống, gồm: Bể chứa nước tuần hoàn; Phân dẫn dòng trong bể; Khung nâng hệ thống; Bánh lái; Chân vịt; Buồng quan sát;
- Xây dựng và bố trí thiết bị đo lực bề lái R; Thiết bị đo vận tốc trung bình dòng chảy tại mặt chuyên tiếp chân vịt - bánh lái; Hệ trục, chân vịt, hộp số và động cơ dẫn động.
- Đã xây dựng quy trình vận hành và đánh giá ưu nhược điểm hệ thống thí nghiệm;
- Hệ thống thí nghiệm sau khi thiết kế và chế tạo mô tả theo hình 4.1. Hệ thống được Hội đồng Khoa học chuyên ngành đánh giá theo Quyết định số 1482/QĐ-ĐHHVN ngày 11/8/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và Hội đồng KHCN cấp Bộ GTVT đánh giá nghiệm thu ngày 07/11/2017 theo Quyết định số 2890/QĐ-BGTVT của Bộ trưởng Bộ GTVT với kết quả xếp loại A (xuất sắc). Hơn nữa, một phần kết quả

ngiên cứu chính của hệ thống công bố trên Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Quốc tế chuyên ngành và đạt giải Nhất theo tiêu chuẩn cao nhất của công trình khoa học xuất sắc, tại Diễn đàn Hội nghị khoa học Quốc tế các trường Đại học Hàng hải và Nghề cá Châu Á, 11/2017.

Hướng quan sát



Hình 4.1. Tổng thể hệ thống thí nghiệm sau khi được thiết kế và chế tạo

Phân tích, so sánh và đánh giá kết quả nghiên cứu thực nghiệm:

Số liệu đầu vào quy đổi theo tiêu chuẩn dạng Froude. Sử dụng 7 thông số vận hành vòng quay chân vịt và vận tốc tương ứng của M/V TAN CANG FOUNDATION là:

$$n_i = \{90; 100; 110; 120; 130; 140; 150\}, (\text{rpm}).$$

$$(V_p)_t \approx \{4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5\}, (\text{m/s}).$$

Phân tích, đánh giá và so sánh kết quả nghiên cứu trên hệ thống thí nghiệm:

- Chương 2 đã tính toán mô phỏng đại lượng đặc trưng vận tốc dọc trục trung bình tại mặt chuyển tiếp, từ đó tính toán cụ thể đại lượng lực bề lái tàu thủy, gọi là $R_{\text{mô phỏng}}$.
- Mặt khác, sử dụng công thức thực nghiệm được quốc tế thừa nhận sau:

$$V_{\text{thực nghiệm}} \approx 1,3(V_p)_t \tag{4.1}$$

Công thức (4.1) áp dụng đối với tàu có 01 chân vịt đặt thẳng góc với trục bánh lái trong mặt phẳng trục dọc tàu (phù hợp với M/V TAN CANG FOUNDATION), kết hợp với (2.22), tính được lực bề lái theo công thức thực nghiệm ($R_{\text{thực nghiệm}}$) theo bảng 4.1.

Bảng 4.1. Kết quả tính toán lực bề lái thực nghiệm $R_{\text{thực nghiệm}}$ theo $V_{\text{thực nghiệm}}$

n_i (rpm)	Giá trị góc bề lái α_i							
	0^0	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
Giá trị lực bề lái ($R_{\text{thực nghiệm}}$)								
90	0	20888,68	41618,54	62031,98	81973,81	101292,41	119840,80	137478,2
100	0	26032,43	5182,640	77307,13	102159,56	126235,28	149351,17	171331,7
110	0	31136,99	62037,25	92465,85	122191,48	150987,97	178636,63	204927,1
120	0	37166,79	74051,01	110372,22	145854,36	180227,46	213230,42	244612,2
130	0	43831,72	87330,20	130164,70	172009,56	212546,70	251467,86	288477,1
140	0	52253,06	104108,80	155173,07	205057,56	253383,06	299782,08	343901,8
150	0	58925,84	117403,67	174988,87	231243,72	285740,39	338064,60	387818,6

- Hơn nữa, để xác định được lực bề lái trên hệ thống thí nghiệm (gọi là $R_{\text{thí nghiệm}}$) theo hình 4.1, cần xác định giá trị vận tốc thí nghiệm trung bình dòng chảy bao quanh bánh lái theo phương dọc trục trên hệ thống (gọi là $V_{\text{thí nghiệm}}$). Thực hiện đo đạc trực tiếp trên hệ thống thí nghiệm thành phần vận tốc trung bình tại bề mặt chuyển tiếp, sẽ nhận được kết quả cụ thể. Từ đó hoàn toàn tính được giá trị lực bề lái $R_{\text{thí nghiệm}}$ theo bảng 4.2.

Bảng 4.2. Kết quả tính toán lực bẻ lái thí nghiệm $R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$ theo $V_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$

n_i (rpm)	Giá trị góc bẻ lái α_i							
	0^0	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
	Giá trị lực bẻ lái ($R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$)							
120	0	36152,20	72029,23	112514,6	141870,0	175302,1	207400,1	237919,5
130	0	42479,24	84635,15	132205,9	166698,9	205982,0	243697,5	279558,0
140	0	49207,17	98039,78	153144,8	193100,9	238605,7	282294,6	323834,8
150	0	56196,27	111964,8	174896,6	220527,8	272495,9	322390,1	369830,4

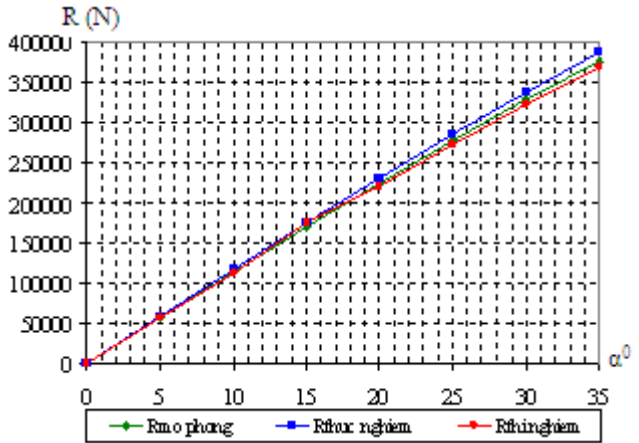
Từ kết quả nhận được theo bảng 2.2 (chương 2), bảng 4.1 và bảng 4.2, thực hiện xây dựng các đồ thị so sánh giá trị lực bẻ lái được thực hiện theo 3 phương pháp: $R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g}$, $R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m}$ và $R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$ tương ứng với các tổ hợp (n_i, α_i) khác nhau. Chẳng hạn, hình 4.2 mô tả đồ thị so sánh các giá trị lực bẻ lái $R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g}$, $R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m}$ và $R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$ khi $n = 150$ rpm.

Phân tích, đánh giá, so sánh trường hợp đặc trưng nhất khi $n = 150$ rpm và $\alpha^0 = 35^0$ là tổ hợp lớn nhất.

Đối với các tổ hợp khác hoàn toàn phân tích, đánh giá và so sánh tương tự.

- Đồ thị mô tả giá trị lực bẻ lái theo hình 4.2 dạng đường thẳng và tỷ lệ thuận với giá trị α^0 . Đồ thị giá trị $R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m}$ nằm phía trên đồ thị mô tả giá trị $R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g}$, cuối cùng là đồ thị $R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$.

- Ba đường đồ thị này rất gần nhau. Khi góc bẻ lái tăng dần (rõ nhất từ $\alpha^0 = 20^0$



Hình 4.2. Đồ thị đánh giá, so sánh giá trị $R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g}$, $R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m}$, $R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m}$ với α^0 khác nhau, khi $n = 150$ rpm.

trở lên), thì xuất hiện sự chênh lệch, nhưng rõ ràng sự chênh lệch này không quá nhiều.

Cụ thể: Cùng các giá trị $n = 150$ rpm và $\alpha^0 = 35^0$, nhưng giá trị R chênh lệch nhau là:

$$R = R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m} - R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g} = 387818,6\ N - 377368,4\ N = 10450,2\ N.$$

$$\text{Tỷ lệ chênh lệch giữa } R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m} \text{ và } R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g} : R\% = \frac{10450,2\ N}{387818,6\ N} \times 100\% = 2,69\% .$$

$$R = R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m} - R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m} = 387818,6\ N - 369830,4\ N = 17988,2\ N.$$

$$\text{Tỷ lệ chênh lệch giữa } R_{thuc\ ng\ h\ i\ e\ m} \text{ và } R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m} : R\% = \frac{17988,2\ N}{387818,6\ N} \times 100\% = 4,64\% .$$

$$R = R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g} - R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m} = 377368,4\ N - 369830,4\ N = 7538,0\ N.$$

$$\text{Tỷ lệ chênh lệch giữa } R_{m\ o\ p\ h\ o\ n\ g} \text{ và } R_{thi\ ng\ h\ i\ e\ m} : R\% = \frac{17988,2\ N}{387818,6\ N} \times 100\% \approx 2\% .$$

Rõ ràng với tỷ lệ chênh lệch biến thiên từ 2% ÷ 4,64% theo 3 phương pháp khác nhau, thì việc nghiên cứu thực nghiệm đảm bảo độ tin cậy cao. Đồng thời đã kiểm chứng kết quả tính toán mô phỏng trong chương 2, chương 3 của luận án và đảm bảo độ tin cậy.

Phân tích, đánh giá, so sánh kết quả nghiên cứu thực địa tuyến luồng Hải Phòng:

Chương 3 đưa ra kết quả nổi bật là tính toán mô phỏng quỹ đạo chuyển động tàu thực địa tại 8 trường hợp khác nhau của 4 khu vực (I, II, III, IV) tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng. Từ đó, đã phân tích, đánh giá và lựa chọn các tổ hợp (n_i, α_i) tối ưu, sao cho quỹ đạo chuyển động tàu bám sát quỹ đạo cho trước.

Để kiểm chứng kết quả này NCS cùng nhóm cộng sự đã trực tiếp nghiên cứu thực địa tuyến luồng Hải Phòng tại 3 thời điểm (tháng 12/2015, tháng 5/2016 và tháng 7/2017) trên M/V TAN CANG FOUNDATION, khi tàu hành trình trên tuyến luồng Hải Phòng. Phân tích, đánh giá và so sánh quỹ đạo chuyển động cho trước với quỹ đạo chuyển động thật của tàu. Cụ thể xét trường hợp 5 khu vực III, đây là trường hợp đặc trưng nhất.

Ghi lại vết chuyển động thật của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION tại khu vực III. Dựa vào vết chuyển động thật của tàu để lại qua các khu vực khảo sát trên tuyến luồng, kết hợp hệ thống phao, tiêu báo hiệu hàng hải, từ đó giới hạn cho phép xây dựng được quỹ đạo thực của tàu.

Đồng thời ghi lại lệnh điều động trên tàu do hoa tiêu đưa ra với khoảng thời gian qua một phần nguy hiểm nhất của khu vực này từ 12 giờ 45 phút đến 12 giờ 50 phút ngày 15/7/2017, chi tiết theo bảng 4.3.

Bảng 4.3. Tổng hợp các lệnh điều động ghi lại trên buồng lái khi qua khu vực III

Thời gian	Vị trí tàu hiện tại	Hướng đi HT	Vòng quay	Góc bẻ lái	Vận tốc	Ghi chú
12h45	Giữa cặp phao 27 - 32 (ứng với ĐĐ ₁)	140 ⁰	110 rpm	Góc bẻ lái đặt $\alpha^0 = 0^0$	7,8	Thủy thủ lái và giữ ổn định trên hướng đi đặt góc bẻ lái này.
12h46				Dao động quanh $\alpha^0 = 0^0$		
12h47	Chính ngang phao dẫn vào kênh Cái Tráp (ứng với ĐĐ ₂)	120 ⁰	110 rpm	Thực hiện bẻ lái $\alpha^0 = 10^0$ (P)	7,5	Thủy thủ lái thay đổi hướng đi mới, và giữ ổn định hướng đi này.
12h48	Giữa cặp phao 25 - 30	110 ⁰	110 rpm	Dao động quanh giá trị $\alpha^0 = 10^0$ (P)	7,6	Thủy thủ lái từ từ giảm về 5 ⁰ (P) và giữ ổn định trên hướng đi này.
12h49	Giữa cặp phao HN7 - HN8 (ứng với ĐĐ ₃)	082 ⁰	110 rpm	Chuyển góc bẻ lái $\alpha^0 = 0^0$	7,5	Thủy thủ lái từ từ giảm về 0 ⁰ và giữ ổn định trên hướng đi này.

Từ kết quả theo bảng 4.3, thực hiện so sánh với kết quả nhận được trong bảng 3.3 và đề xuất phương án điều động tàu của trường hợp 5 trong chương 3, nhận xét rằng:

- Kết quả khảo sát, nghiên cứu thực địa gắn với kết quả tính toán mô phỏng, từ đó lựa chọn tổ hợp (n_i, α_i) trong chương 3, đồng thời cũng thỏa mãn với đề xuất phương án điều động tàu qua khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng hải trong chương 3;

- Đối với các trường hợp khác thực hiện tương tự như trường hợp 5 của khu vực III.

Như vậy, tổng hợp các quá trình nghiên cứu thực địa tại khu vực, xây dựng được quỹ đạo chuyển động thật của tàu, được mô tả theo hình 4.3 và rút ra kết luận rằng:

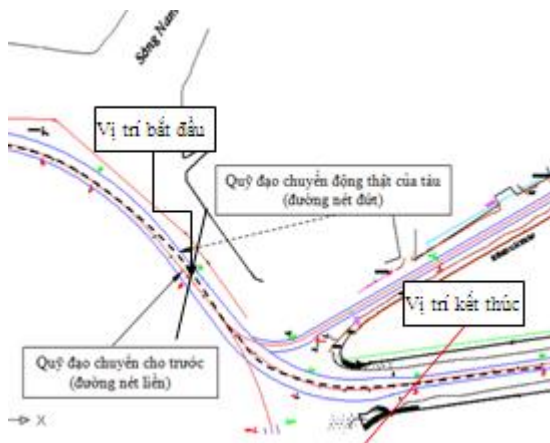
- Kết quả nghiên cứu thực nghiệm quỹ đạo chuyển động thật luôn xu hướng bám sát quỹ đạo cho trước của tàu và phù hợp với kết quả tính toán mô phỏng trong chương 3;

- Việc nghiên cứu thực nghiệm đã kiểm chứng được kết quả nghiên cứu đặt ra, nhưng còn hạn chế trong việc đánh giá sai số quỹ đạo theo tính toán mô phỏng và quỹ đạo chuyển động thật của tàu. Điều này khó thực hiện, bởi vì có sự giới hạn điều kiện biên, dẫn đến chưa hoàn toàn tương thích điều kiện biên giữa tính toán mô phỏng và điều kiện thực nghiệm thực tế tuyến luồng.

Kết luận chương 4: Tập trung nghiên cứu thực nghiệm với kết quả cơ bản đạt được như sau:

- Thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh giá tác động tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy. Tiến hành thí nghiệm giá trị vận tốc dọc trục tại mặt chuyển tiếp thông qua đại lượng trung gian lực bẻ lái tàu thủy. Kết quả thí nghiệm được so sánh, phân tích và đánh giá với các phương pháp khác nhau và đảm bảo độ tin cậy.

- Thực hiện nghiên cứu thực địa trên tuyến luồng Hải Phòng nhiều lần, trên tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, để kiểm chứng kết quả chính trong chương 3. Theo kết quả đạt được khi nghiên cứu thực địa này, giới hạn tại các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải, đã phân tích, đánh giá và so sánh với kết quả chính đạt được trong chương 3. Từ đó rút ra kết luận rằng: Các tổ hợp chân vịt - bánh lái tối ưu được lựa chọn cho từng trường hợp và phương án đề xuất điều động tàu bám theo quỹ đạo cho trước hoàn toàn phù hợp và thỏa mãn với kết quả nghiên cứu thực địa.



Hình 4.3. Đánh giá, so sánh quỹ đạo chuyển động thật (nét đứt) và quỹ đạo cho trước (nét liền) của tàu

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN:

Bằng các phương pháp nghiên cứu đã thực hiện, đề tài luận án đã đạt được mục đích nghiên cứu đặt ra, với các kết quả cụ thể như sau:

1.1. Hệ thống hóa cơ sở lý luận tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và tổ hợp tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy. Đặc biệt khảo sát, phân tích và đánh giá đặc điểm của 4 khu vực (I, II, III, IV) tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng. Từ kết quả này, đã xây dựng mô hình nghiên cứu thực tế tại 4 khu vực nêu trên.

1.2. Xây dựng quy trình nghiên cứu, ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng sự tương tác dòng chảy sau chân vịt với bánh lái tàu thủy nói chung và áp dụng cho đối tượng nghiên cứu cụ thể của luận án, nhận được các đại lượng đặc trưng tại mặt chuyển tiếp, đặc biệt tập trung nghiên cứu tính toán mô phỏng giá trị vận tốc trung bình dọc trục tại mặt chuyển tiếp với các tổ hợp (n_i, α_i) khác nhau. Phân tích và đánh giá mối quan hệ chặt chẽ giữa giá trị trung gian lực bẻ lái R theo tổ hợp (n_i, α_i) tương ứng bằng phương mô phỏng.

1.3. Xây dựng mô hình lưới động đối với vật thể chuyển động trong chất lỏng nói chung và áp dụng cụ thể theo số liệu của M/V TAN CANG FOUNDATION. Tính toán mô phỏng sự tương tác tổ hợp chân vịt - bánh lái đến điều khiển hướng đi tàu thủy trên tuyến luồng Hải Phòng cho 8 trường hợp của 4 khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải. Từ đó lựa chọn tối ưu tổ hợp tương tác chân vịt - bánh lái của từng trường hợp. Trên cơ sở này, đề xuất phương án điều động tàu tối ưu, nhằm khuyến cáo hoa tiêu, thuyền trưởng chủ động, tự tin dẫn tàu bám theo quỹ đạo cho trước, khi tàu hành trình qua các khu vực tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng.

1.4. Thiết kế, chế tạo thử nghiệm và xây dựng quy trình vận hành hệ thống thí nghiệm, để kiểm chứng cụ thể kết quả tính toán mô phỏng sự tương tác tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy. Hệ thống thí nghiệm không chỉ giải quyết vấn đề nghiên cứu của luận án, mà còn có thể mở rộng cho vấn đề nghiên cứu khác liên quan đến lĩnh vực hàng hải.

Hơn nữa, để làm nổi bật kết quả của luận án, một phần kết quả nghiên cứu cơ bản trong luận án đã được NCS kết hợp chặt chẽ với vấn đề nghiên cứu của đề tài KHCN cấp Bộ Giao thông vận tải, mà NCS là một trong những thành viên chính tham gia thực hiện.

1.5. Xây dựng quy trình nghiên cứu thực nghiệm, kiểm chứng kết quả đạt được của luận án, cụ thể: Tiến hành thí nghiệm trên hệ thống thí nghiệm và nghiên cứu thực địa tuyến luồng Hải Phòng, trên tàu M/V TAN CANG FOUNDATION. Từ kết quả nhận được theo thực nghiệm, thực hiện so sánh, phân tích và đánh giá với kết quả tính toán mô phỏng thực hiện trong các chương 2 và chương 3 của luận án và rút ra kết luận rằng:

- Các kết quả tính toán mô phỏng mà nghiên cứu sinh thực hiện trong chương 2 đã được kiểm chứng và đảm bảo độ tin cậy;

- Các tổ hợp chân vịt - bánh lái được lựa chọn tối ưu cho từng trường hợp và phương án đề xuất điều động tàu bám theo quỹ đạo cho trước tại 4 khu vực tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn hàng hải trong chương 3, hoàn toàn phù hợp và thỏa mãn.

2. KIẾN NGHỊ

Kiến nghị của luận án cũng chính là những vấn đề cần quan tâm trong hướng nghiên cứu tiếp theo, cụ thể:

2.1. Đã xây dựng cơ sở khoa học và quy trình tính toán chung áp dụng cho tuyến luồng Hải Phòng, nhưng việc tính toán mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm giới hạn tại 4 khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn hàng hải, mà chưa thể hiện chi tiết toàn bộ tuyến luồng Hải Phòng. Vì vậy, trong điều kiện cho phép và có thể trong các nghiên cứu tiếp theo, sẽ tiếp tục thực hiện trên các khu vực còn lại của tuyến luồng.

2.2. Mặc dù từng bộ phận, từng thiết bị trong hệ thống thí nghiệm được thiết kế và chế tạo đã có chứng nhận về độ chính xác thiết bị của nhà sản xuất, hơn nữa, hệ thống được Hội đồng Khoa học chuyên ngành đánh giá và Hội đồng KHCN cấp Bộ Giao thông vận tải nghiệm thu đánh giá loại A (xuất sắc), nhưng cả hệ thống chưa được đánh giá về độ chính xác. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu thí nghiệm trên hệ thống không ảnh hưởng, bởi vì luận án sử dụng phương pháp tiếp cận là phân tích, đánh giá và so sánh kết quả theo các phương pháp khác nhau: Kết quả tính toán mô phỏng, kết quả theo công thức thực nghiệm với kết quả nghiên cứu thí nghiệm, từ đó rút ra kết luận về sự chênh lệch kết quả theo ba cách khác nhau.

2.3. Trong điều kiện cho phép, tác giả tiếp tục nghiên cứu từng bước cải thiện một số hạn chế của hệ thống thiết kế và chế tạo, đồng thời mở rộng cho nhiều bài toán nghiên cứu thực nghiệm khác của chuyên ngành trên hệ thống thí nghiệm này.