

TÍNH TOÁN THỦY ĐỘNG LỰC HỌC CHO TÀU USV DẠNG HAI THÂN

HYDRODYNAMIC CALCULATIONS FOR A CATAMARAN-TYPE USV

Hà Mạnh Tuấn, Vũ Đình Quý, Lê Thị Tuyết Nhung*

Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: nhung.lethituyet@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Kết cấu tàu hai thân (catamaran) giữ vai trò quan trọng trong thiết kế USV nhờ khả năng cung cấp độ ổn định cao, diện tích boong lớn và lực cản thấp hơn so với tàu một thân có cùng lượng chiếm nước. Cấu hình hai thân giúp giảm dao động lắc ngang, duy trì khả năng điều khiển chính xác khi USV hoạt động trong điều kiện sóng gió phức tạp. Ngoài ra, khoảng cách giữa hai thân tạo điều kiện thuận lợi để tích hợp cảm biến, thiết bị khảo sát và hệ thống điều khiển tự động. Những đặc điểm này làm cho catamaran trở thành nền tảng lý tưởng cho các nhiệm vụ dài hạn như quan trắc biển, giám sát và khảo sát địa hình đáy. Tuy nhiên, tương tác sóng-thân và sự phân bố áp suất phức tạp giữa hai thân đặt ra yêu cầu cấp thiết phải nghiên cứu sâu về thủy động lực học của cấu hình này. Trong các mẫu tàu hai thân phổ biến, mẫu tàu hai thân của Chao Wang 2016 sẽ được chọn để xây dựng và tính toán, kiểm chứng mô hình CFD hiện dùng tiến đến áp dụng cho mẫu thực chế tạo trong pha tiếp theo.

Từ khóa: USV; Thủy động lực học; Tàu hai thân.

ABSTRACT

The catamaran configuration plays a crucial role in USV design due to its high stability, large deck area, and lower hydrodynamic resistance compared to monohull vessels of equivalent displacement. The twin-hull arrangement effectively reduces roll motion and maintains precise maneuverability when the USV operates under complex wind and wave conditions. Additionally, the spacing between the two hulls provides favorable conditions for integrating sensors, survey equipment, and autonomous control systems. These characteristics make the catamaran an ideal platform for long-duration missions such as ocean observation, surveillance, and seabed mapping. However, the wave-hull interactions and the complex pressure distribution between the two hulls highlight the need for in-depth hydrodynamic investigations of this configuration. Among the commonly used catamaran models, the 2016 design by Chao Wang is selected for reconstruction and analysis in this study, serving as the basis for CFD model validation before being applied to a prototype in the subsequent development phase.

Keywords: USV; Hydrodynamic; Catamaran.

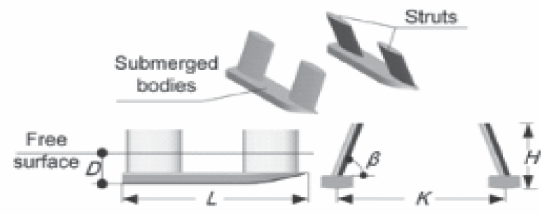
1. TỔNG QUAN

Theo như thông kê các nghiên cứu trên các loại tàu USV hiện hành, 3 loại hình dạng thân được xếp loại là 1 thân, 2 thân và 3 thân thường được sử dụng cho các loại tàu USV. Nhóm các tàu 1 thân gồm Xiao 2021 [1], Kang 2020[2], có các nghiên cứu về mô hình động lực học của dạng tàu nhỏ và nhỏ 1 thân, từ đó tìm ra được thông số lực cản lớn nhất. Nghiên cứu của Xiao 2021 [1] khảo sát về sự an toàn của việc neo đậu tàu 1 thân không người lái. Để khám phá ảnh hưởng của sự kết hợp gió và sóng, mô hình động lực học chất lỏng tính toán (CFD) neo đậu đã được thiết lập và các đặc tính của trường tốc độ, trường áp suất và xoáy đã thu được dưới các tốc độ, hướng gió và tường bên có khoảng cách khác nhau. Kết quả thu được có thể đưa ra chiến lược kiểm soát an toàn khi neo đậu tàu không người lái, đồng thời cung cấp cơ sở lý thuyết cho việc lập kế hoạch tuyến đường tàu không người lái và tránh chướng ngại vật, thiết kế an toàn. Tàu 2 thân được các tác giả Wang 2016 [3], Brodin 2020 [4] nghiên cứu về cả phương pháp CFD và VPP. Nghiên cứu đưa ra một mô hình USV sau đó sử dụng mô phỏng CFD và phần mềm dự đoán vận tốc VPP để tính toán các lực khí động tác dụng vào thân tàu. Tàu 3 thân được tác giả Gupta 2017 [5] nghiên cứu về thủy động lực học của tàu 3 thân đơn giản, qua đó tối ưu hình dáng để tăng khả năng hoạt động của USV Trimaran. Trong các mẫu tàu của các tác giả này, mẫu tàu 2 thân của Wang 2016 sẽ được chọn để xây dựng và tính toán, kiểm chứng mô hình CFD hiện dùng tiến đến áp dụng cho mẫu thực chế tạo trong pha tiếp theo.

2. MÔ HÌNH HÓA TÀU USV HAI THÂN

Giống như các SWATH USV (Small Waterplane Area Twin Hull Unmanned Surface Vehicle) khác, SWATH USV được thiết kế trong bài viết này cũng có hai phần thân chìm, thanh chống và cấu trúc thượng tầng. Tuy

nhien, không giống như các tàu SWATH thông thường, phần thân chìm của USV được thiết kế trong bài viết này có hình dạng quy hoạch (shaped), cung cấp lực nâng cho phương tiện. Thân và thanh chống chìm trong nước là bộ phận chính ảnh hưởng đến đặc tính thủy động lực. Kiến trúc thượng tầng chưa được thiết lập. Mô hình và kích thước được đưa ra dưới đây:



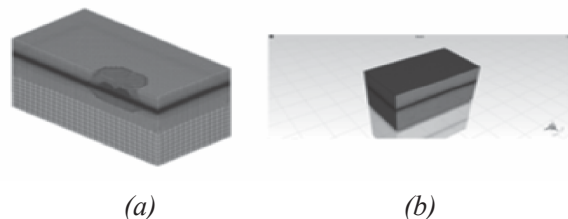
Hình 1. Sơ đồ mô hình tàu hai thân

Bảng 1. Thống kê các thông số tàu hai thân

Kích thước	Giá trị
L	12 m
K	9.4 m
H	4 m
β	70°
D	1.5 m

2.1. Mô hình hóa tàu và điều kiện biên

Trong mô hình CFD, sử dụng lưới tổ ong cho ra kết quả mô phỏng tương đối chính xác và chất lượng khá tốt so với lưới Grid được sử dụng trong bài báo. Các thông số cụ thể của lưới được cụ thể hóa như sau: Số phần tử là 1.7 triệu phần tử; Chất lượng lưới chỉ tiêu “Orthogonal” là 0.22, đạt tiêu chuẩn.

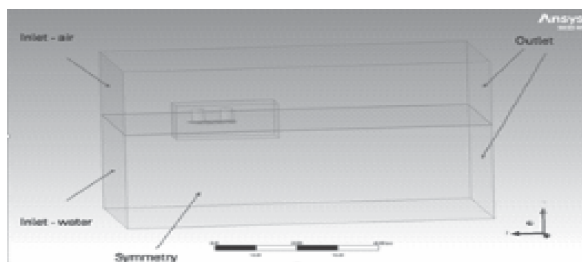


Hình 2. Hình dạng lưới Wang 2016 (a) và nghiên cứu này (b)

2.2. Tải và điều kiện biên

Điều kiện biên của bài mô phỏng được thiết lập ở hai phía. Điều kiện biên đầu vào gồm mô hình nhiều pha với đầu vào áp lực (pressure – inlet), cụ thể: Tọa độ mặt tự do hay vị trí của mặt phân cách giữa không khí với nước theo hệ trục tọa độ, ở đây chọn 0 m; Độ lớn vận tốc 2,57 m/s (5 knots); Vị trí mặt dưới của miền bao là 30 m. Điều kiện biên đầu ra Tọa độ mặt tự do và Vị trí mặt dưới của miền bao tương tự đầu vào.

Lựa chọn mô hình nhớt k – omega với 2 phương trình để giải quyết bài toán của tàu thủy. Mô hình 2 pha Volume of Fluid được thiết lập với 2 pha nước và không khí với các công thức tính lực và hình dạng được thiết lập.

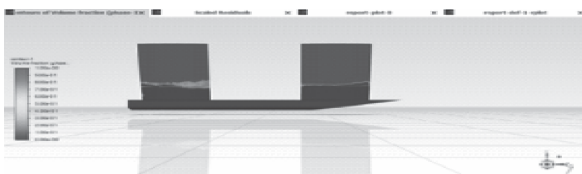


Hình 3. Điều kiện biên

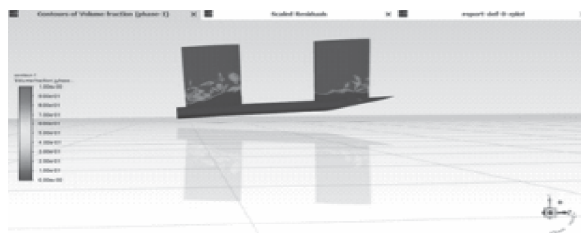
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích tỷ lệ khối lượng nước và không khí

Tiến hành mô phỏng tìm ra khối lượng các phần nước và không khí (Volume fraction) và độ nâng của tàu thủy thay đổi theo vận tốc tăng dần từ 5 knots đến 50 knots.



(a)



(b)

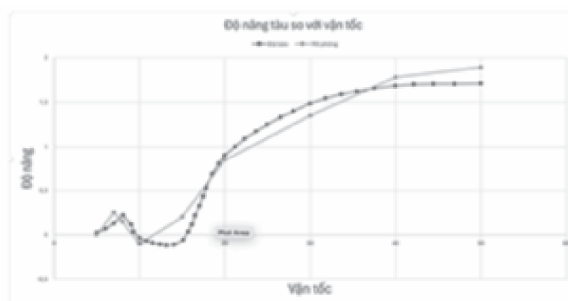
Hình 4. Tỷ lệ khối lượng các phần nước và không khí $v = 10$ knots (a), $v = 15$ knots (b)

Kết quả mô phỏng với vận tốc $v = 10$ knots cho khối lượng các phần tương tự như kết quả của bài báo theo định tính, phần mặt phân cách giữa nước và không khí bắt đầu có sự thay đổi và độ nâng lên của tàu bằng -0.1 m, lúc này tàu vẫn chưa được nâng lên khỏi mặt nước.

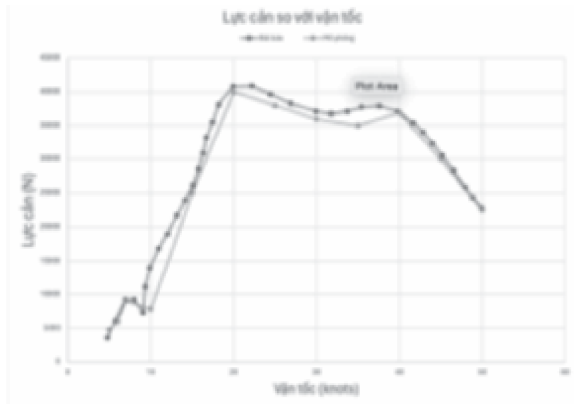
Kết quả mô phỏng với vận tốc $v = 15$ knots cho khối lượng các phần tương tự như kết quả của bài báo theo định tính, phần mặt phân cách giữa nước và không khí bắt đầu có sự thay đổi và độ nâng lên của tàu bằng 0.2 m, tàu được nâng lên so với mặt nước một góc khoảng 5° .

3.2. Đánh giá độ nâng và lực cản

Từ các dữ liệu thu được sau khi chạy các trường hợp vận tốc khác nhau, thu được đồ thị độ nâng của tàu so với vận tốc như hình vẽ (đường màu cam). So sánh với đường đồ thị của Wang 2016 (đường màu xanh), các điểm tính toán được theo mô phỏng so với lý thuyết bài báo có sai lệch nhỏ. Tương quan của hai đồ thị được thể hiện trong hình 5.



Hình 5. Đồ thị độ nâng so với vận tốc



Hình 6. Đồ thị lực cản so với vận tốc

Với lực cản tác dụng lên tàu, thực hiện mô phỏng lực cản với dải vận tốc thay đổi từ 0 đến 60 knots, tìm lực cản lớn nhất tác dụng lên tàu sau đó thu được đồ thị sự thay đổi của lực cản so với vận tốc. Thực hiện chạy trường hợp lực cản với vận tốc $v = 10$ knots, lực cản lớn nhất thu được tại thời gian 5s với giá trị $D = 7800N$. Từ đó, vẽ đồ thị các trường hợp lực cản với vận tốc khác nhau và so sánh với kết quả mô phỏng của nghiên cứu của Wang 2016. Các giá trị tải dải vận tốc từ 5 knots đến 60 knots với bước nhảy 5 khi chạy mô phỏng cho sai số nhỏ so với giá trị tương đương ở kết quả mô phỏng của Wang 2016 [3]. Tương quan giữa hai đồ thị lực cản trong hình có thể thấy mô hình CFD được chọn cũng như chất lượng lưới cho cùng một dải độ lớn phù hợp. Mô hình này hoàn toàn có thể áp dụng để tính toán trên các thiết bị có cải tiến về mặt hình học trong pha tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

Trong nội dung này, nhóm nghiên cứu đã khảo sát các mô hình thủy động lực học của các loại tàu USV có trong các nghiên cứu hiện hành. Từ đó phân loại ra được nhóm mô hình tàu 1 thân và 2 thân có những ưu nhược điểm về mặt thiết kế và về sức cản khi tàu chạy. Sử

dụng phương pháp mô phỏng CFD, nghiên cứu này đã đưa ra được mô hình thủy động lực học cho loại hình dạng tàu hai thân tiêu biểu, đồng thời kiểm chứng các mô hình với các nghiên cứu uy tín trên tạp chí quốc tế.

Mô hình thủy động lực học cùng các thông số của các pha nước và khí cũng được thiết lập để tính toán ra độ nâng và lực cản cho tàu hai thân dạng dài 12m. Kết quả so sánh với Wang 2016 [3] cũng đưa ra độ tin cậy cao của nghiên cứu. Lực cản lớn nhất của chiếc tàu cỡ trung này với vận tốc 20 knots rơi vào khoảng 40000N. Nghiên cứu có thể phát triển trên sự lựa chọn mẫu tàu này để chế tạo thử nghiệm.

Lời cảm ơn:

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam đã hỗ trợ thông qua đề tài mã số B2024-BKA-13. ❖

Ngày nhận bài: 28/11/2025

Ngày phản biện: 10/12/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Xiao G, Tong C, Wang Y, Guan S, Hong X, Shang B, "CFD Simulation of the Safety of Unmanned Ship Berthing under the Influence of Various Factors". Applied Sciences. 2021; 11(15):7102. <https://doi.org/10.3390/app11157102>.
- [2]. Kang S, Yu J, Zhang J and Jin Q, "Development of Multibody Marine Robots: A Review". IEEE Access; 2020 ,8: 21178-21195 doi: 10.1109/ACCESS.2020.2969517.
- [3]. Wang C, Lin Y, Hu Z, Geng L and Li D, "Hydrodynamic analysis of a SWATH planing USV based on CFD". OCEANS 2016 - Shanghai, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/OCEANSAP.2016.7485460.
- [4]. H. Brodin, "Hydrodynamic design of an affordable USV". Scientific report 2020. <https://hdl.handle.net/11250/2780171>.
- [5]. Gupta A, Shukla S, Singh S, "Numerical simulation of surface effect phenomenon on simplified trimaran hull". Computational Science Symposium, 2017.