

ỨNG DỤNG CFD PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CHÂN VỊT CLT USING CFD TO ANALYSE HYDRODYNAMIC PERFORMANCE OF A CLT PROPELLER

¹Vũ Văn Duy, ¹Nguyễn Chí Công, ²Cổ Tấn Anh Vũ

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Trường Đại học GTVT TP-Hồ Chí Minh

Tóm tắt Mục tiêu chính của bài báo này là sử dụng phương pháp số (CFD) tính toán mô phỏng, xây dựng đường đặc tính của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt có gắn thêm cánh phụ ở đỉnh hay còn gọi là chân vịt CLT (Contracted tip load propeller). Chân vịt nguyên mẫu được sử dụng trong nghiên cứu có các thông số cơ bản như sau: Đường kính 1 m; số vòng quay của chân vịt 500 vòng/phút; tỷ số bước của chân vịt 0,945, đường kính bầu 0,2m. Chân vịt CLT sử dụng tính toán có cùng kích thước cơ bản với chân vịt nguyên mẫu. Dựa vào kết quả tính toán mô phỏng là đường đặc tính làm việc của hai loại chân vịt này sẽ đánh giá được hiệu quả của chân vịt CLT so với chân vịt nguyên mẫu. Bài báo phân tích hai nguyên nhân chính giúp chân vịt CLT cải thiện hơn so với chân vịt nguyên mẫu là hạn chế được hiện tượng xâm thực trên cánh và hiện tượng xoáy đỉnh cánh (dòng chèo ngược).

Từ khóa: CFD, chân vịt CLT.

Chỉ số phân loại: 2.1

Abstract: The main aim of the paper is to use the computational fluid dynamics (CFD) technique in analyzing and building the characteristic curves of an original marine propeller and a propeller with endplates on its blades. The original propeller is at the following design conditions: The diameter of 1 m; speed of 500 rpm; pitch ratio of 0.945, boss diameter of 0.2 m. The CLT propeller used in the article has the same crucial parameters of the original propeller. Based on simulation results as hydrodynamic performance curves, the authors highlight the advantages of the CLT propeller compared with the original propeller. The article illustrated two main factors making the CLT propeller better than original propeller is the cavitation phenomenon and the tip vortex on propeller's blades.

Keywords: CFD, CLT propeller.

Classification number: 2.1

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, do giá thành nhiên liệu trở nên đắt đỏ, các tiêu chuẩn về phát sinh khí thải yêu cầu cao hơn, tính toán thiết kế chân vịt với hiệu suất cao, ít rung động, hạn chế tác hại xâm thực trở thành vấn đề cấp bách và mang tính thời sự.



Hình 1. Chân vịt CLT trang bị trên tàu cánh ngầm

Ở đây, chân vịt CLT khác với chân vịt truyền thống là tồn tại cánh gắn trên đỉnh cánh 'Endplate' từ đó hạn chế hiện tượng xoáy đỉnh cánh, nâng giá trị lực đẩy trên một đơn vị diện tích cao hơn, tăng hiệu suất, giảm tiếng ồn, rung động và xâm thực, qua đó làm tăng tuổi thọ của kết cấu hệ trục chân vịt. Như vậy, sử

dụng chân vịt CLT trở thành một biện pháp thay thế hoàn hảo cho chân vịt truyền thống [1, 2].

Nội dung chính của bài báo này là ứng dụng phương pháp số nghiên cứu đặc tính của chân vịt CLT. Các kết quả thu được như hệ số lực đẩy, hệ số mô men, phân bố áp suất trên bề mặt cánh, phân bố vận tốc... được phân tích một cách chi tiết.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Các hệ số thủy động lực học chân vịt

Các hệ số thủy động lực học đặc trưng trong tính toán mô phỏng chân vịt tự do "open water" là hệ số lực đẩy K_T , hệ số mô men K_Q , hiệu suất η là hàm của hệ số tiến J . Các hệ số này được xác định theo công thức sau [3]:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}; K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}; J = \frac{V_a}{nD}; \eta = \frac{K_T \cdot J}{K_Q \cdot 2\pi} \quad (1)$$

Trong đó

T : Lực đẩy do chân vịt tạo ra (N);

Q : Mô men xoắn trên trục chân vịt (N.m);

V_a : Vận tốc dòng vào chân vịt (m/s);

J : Hệ số tiến;

n : Vận tốc quay của trục chân vịt (rpm).

2.2. Một số phương trình động lực học cơ bản

Các phương trình cơ bản mô phỏng dòng chảy bao quanh chân vịt là phương trình bảo toàn khối lượng, phương trình bảo toàn mô men được trình bày như sau [4]:

- Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (2)$$

- Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = \rho \bar{F}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \left[\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_j}{\partial x_i^2} \right] \quad (3)$$

Trong đó $\bar{p}$ là áp suất trung bình, μ là độ nhớt phân tử và $\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$ là ứng suất Reynolds trung bình. Ứng suất Reynolds trung bình được xác định theo công thức sau:

$$-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

Trong đó μ_t là độ nhớt rối và k là năng lượng rối động học.

3. Tính toán mô phỏng số

3.1. Các trường hợp tính toán

Để nghiên cứu ưu điểm của chân vịt có lắp thêm cánh phụ “CLT” so với chân vịt nguyên mẫu ta triển khai tính toán mô phỏng số cho hai bài toán này với cùng 10 điểm làm việc tương ứng với các hệ số tiến J khác nhau khi giữ nguyên số vòng quay, cụ thể như sau:

Bảng 1. Các trường hợp tính toán.

STT	n (rpm)	V_a (m/s)	J
1	500	0.83	0.1
2	500	1.67	0.2
3	500	2.5	0.3
4	500	3.33	0.4
5	500	4.17	0.5
6	500	5.0	0.6
7	500	5.83	0.7
8	500	6.67	0.8
9	500	7.5	0.9
10	500	8.3	1.0

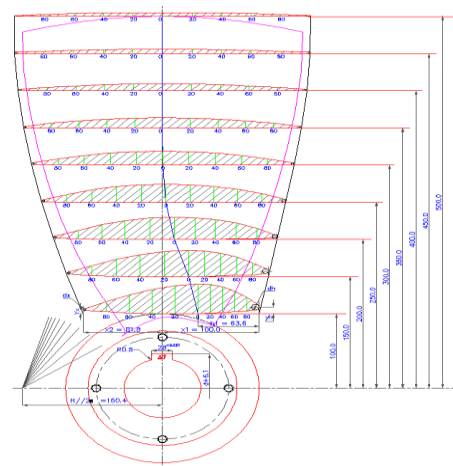
3.2. Mô hình bài toán và chia lưới

Chân vịt nguyên mẫu dùng trong nghiên cứu này là chân vịt bốn cánh được lắp trên phà quân sự trọng tải 120 tấn. Chân vịt CLT có các thông số tương tự như chân vịt nguyên mẫu nhưng có lắp thêm cánh phụ vào đỉnh cánh về phía mặt đáy, có bề rộng là 5% D (xem hình 3, 4). Các thông số cơ bản của chân vịt nguyên mẫu được thể hiện trong bảng 1. Vùng không gian tính toán “Domain” cho hai trường hợp: Chân vịt nguyên mẫu và chân vịt CLT trong bài báo này là hình trụ có trục trùng với trục quay của chân vịt, đường kính bằng 10 lần đường kính của chân vịt, chiều dài của hình trụ bằng 13 lần đường kính chân vịt. Đầu vào “Inlet” cách chân vịt bằng ba lần đường kính chân vịt, đầu ra “Pressure outlet” cách chân vịt một khoảng bằng 10 lần đường kính chân vịt.

Bảng 2. Các thông số cơ bản của chân vịt.

STT	Tên	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính	1	m
2	Tỷ số bước H/D	0,945	m
3	Vận tốc góc	500	rpm
4	Số cánh	4	
5	Tỷ số mặt đĩa	0,55	
6	Đường kính bầu	200	mm

Kích thước chân vịt nguyên mẫu thể hiện qua hình 2:



Hình 2. Bản vẽ chân vịt nguyên mẫu.

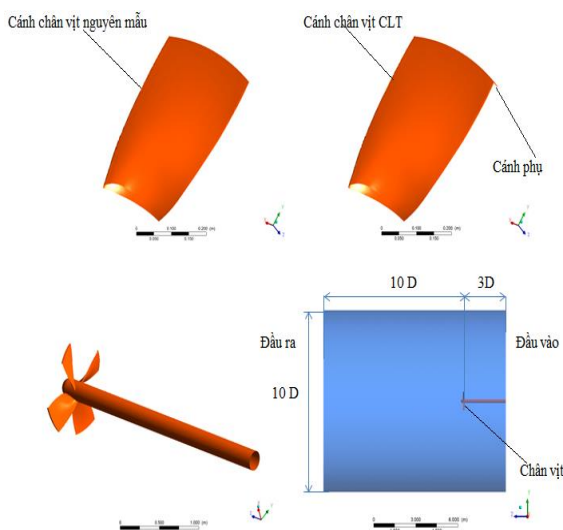
Bảng 3. Các thông số lưới chân vịt nguyên mẫu.

Không gian tính toán	Số nút	Số ph/ tử
Khối động	1338115	268017
Khối tĩnh	1439229	259621
Toàn bộ không gian tính toán	2777344	527638

Bảng 4. Các thông số lưới chân vịt CLT.

Không gian tính toán	Số nút	Số ph/ tử
Khối động	2665444	538841
Khối tĩnh	1439229	259621
Toàn bộ không gian tính toán	4104673	798462

Kích thước của vùng không gian tính toán phải phù hợp để đảm bảo độ chính xác của kết quả tính toán mô phỏng, việc chọn kích thước

**Hình 3.** Kích thước không gian tính toán.

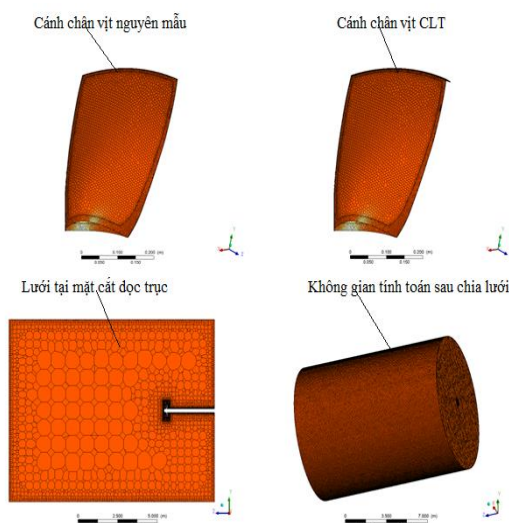
3.2. Điều kiện biên

Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng mô hình rối RNG k- ϵ để tính toán mô phỏng đặc tính động lực học của chân nguyên mẫu và chân vịt CLT. Thuật toán PISO dùng để nội suy mối quan hệ giữa vận tốc và áp suất của các phần tử chất lỏng trong vùng không gian tính toán. Chi tiết các điều kiện biên của bài toán được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. Chi tiết các điều kiện biên.

Tên	Điều kiện biên	Giá trị	Đơn vị
Đầu vào	Vận tốc	0,83 - 8,3	m/s
Đầu ra	Áp suất	0	Pa
Tường	Tường tĩnh	-	-
Cánh	Tường động	-	rpm
Cánh phụ	Tường động	-	rpm
Khối tĩnh	Khối tĩnh	-	-
Khối động	Khối quay	500	rpm

vùng không gian tính toán tham khảo tài liệu [1, 2, 5, 6]. Vùng không gian này được chia làm hai phần: Phần 1 “Dynamic domain” chứa chân vịt, phần không gian này được chia lưới mịn hơn để đảm bảo độ chính xác của kết quả tính toán. Phần 2 “Static domain” là phần không gian bao quanh chân vịt, vùng này được chia lưới thô hơn để giảm khối lượng và thời gian tính toán. Để mô tả sự tương tác giữa hai vùng này ta sử dụng mô hình lưới trượt “Sliding mesh”. Kích thước không gian khảo sát thể hiện trên hình 3 và hình ảnh sau khi chia lưới được thể hiện trên hình 4.

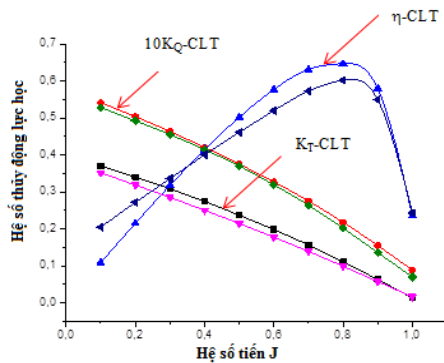
**Hình 4.** Mô hình sau khi chia lưới.

4. Kết quả và phân tích kết quả

4.1. Đặc tính thủy động lực học của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt CLT

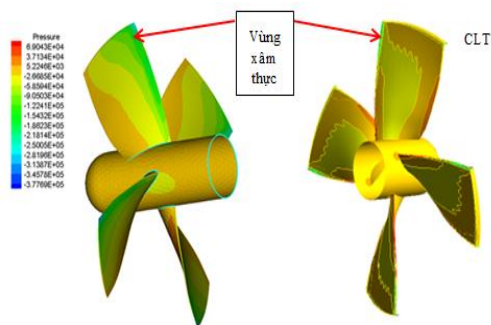
Hình 4 là đặc tính thủy động lực học của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt có gắn thêm cánh phụ. Ta thấy rằng quy luật biến thiên hệ số lực đẩy K_T và hệ số mô men K_Q của hai chân vịt này là hàm gần như tuyến tính với hệ số tiến J , hệ số lực đẩy và hệ số mô men của chân vịt CLT lớn hơn chân vịt nguyên mẫu. Với các hệ số tiến J từ 0,1 ÷ 0,3 hệ số mô men của chân vịt CLT tăng nhanh hơn so với hệ số lực đẩy, do đó hiệu suất của chân vịt CLT tương ứng với các hệ số tiến này nhỏ hơn chân vịt nguyên mẫu. Tuy nhiên khi hệ số tiến J lớn hơn 0,4, hệ số lực đẩy của chân vịt CLT tăng nhanh hơn so với hệ số mô men do đó hiệu suất của chân vịt CLT lớn hơn chân vịt nguyên mẫu. Tại chế độ khai thác tương ứng với hệ số tiến

$J = 0,8$ chân vịt CLT có hiệu suất lớn hơn so với chân vịt ban đầu khoảng 6,8%.



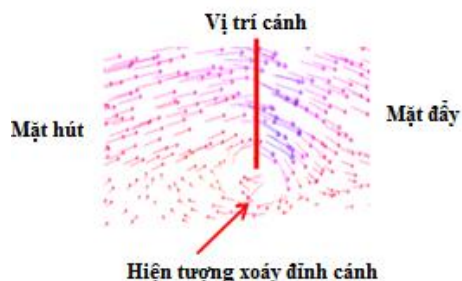
Hình 5. Đặc tính động lực học của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt CLT.

4.2. Khả năng chống xâm thực của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt CLT



Hình 6. Phân bố áp suất tại mặt hút tại $J=0,6$ với $n = 500$ rpm.

Phân bố áp suất trên mặt hút cho biết vùng nguy cơ xâm thực của chân vịt CLT được cải thiện đáng kể (nhỏ hơn và bám sát mép vào), với chân vịt nguyên mẫu có vùng xâm thực lớn hơn và loang rộng về phía đỉnh cánh. Ngoài ra, với chân vịt nguyên mẫu sẽ tồn tại hiện tượng xoáy đỉnh cánh, trong khi đó chân vịt CLT dập hoàn toàn được hiện tượng này.



Hình 7. Hiện tượng xoáy đỉnh cánh trên chân vịt nguyên mẫu.

Như vậy, với việc hạn chế được vùng xâm thực cũng như ngăn được hiện tượng

xoáy đỉnh cánh đã giúp chân vịt CLT tăng được hiệu suất làm việc so với chân vịt nguyên mẫu, ngoài ra nó còn giảm được rung động, tiếng ồn dẫn đến tăng tuổi thọ của thiết bị liên quan.

5. Kết luận

Bài báo đã ứng dụng phương pháp số, tính toán, mô phỏng động lực học của chân vịt nguyên mẫu và chân vịt CLT. Từ các kết quả tính toán mô phỏng đạt được như phân bố áp suất trên các cánh, phân bố vận tốc, các đường đặc tính thủy động lực học của hai loại chân vịt nói trên nhóm tác giả đã phân tích làm nổi bật được ưu điểm của chân vịt CLT so với chân vịt nguyên mẫu. Tại vận tốc khai thác tương ứng với hệ số tiến $J = 0,8$ hiệu suất của chân vịt CLT cao hơn 6,8% so với chân vịt nguyên mẫu.

Cánh phụ trên chân vịt CLT làm thay đổi đáng kể phân bố áp suất trên hai bề mặt cánh, hạn chế vùng xâm thực, khắc phục hiện tượng xoáy đỉnh cánh... Do đó chân vịt CLT có khả năng hoạt động ở dải vận tốc góc lớn hơn với độ ổn định cao.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bertetta, D., et al., *EFD and CFD Characterization of a CLT Propeller*. International Journal of Rotating Machinery, 2012. 2012: p. 1-22.
- [2] Ommundsen, A., *Unconventional Propeller Tip Design*, in Norwegian University of Science and Technology. 2015.
- [3] Carlton, J.S., *Marine Propellers and Propulsion*, ed. 2. 2007. 556.
- [4] ANSYS Fluent Theory Guide. 2013. 814.
- [5] Rodolfo Bontempo, M.C., Marcello Manna, Giovanni Vorraro, *Ducted propeller flow analysis by means of a generalized actuator disk model*, in 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association. 2014. p. 9.
- [6] Lu, L., G. Pan, and P.K. Sahoo, *CFD prediction and simulation of a pumpjet propulsor*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2016. 8(1): p. 110-116.

Ngày nhận bài: 8/3/2019

Ngày chuyển phản biện: 12/3/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 2/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 9/4/2019