

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA CHÂN VỊT BIẾN BƯỚC

USING NUMERICAL METHOD TO INVESTIGATE A CONTROLLABLE PITCH PROPELLER'S PERFORMANCE

Nguyễn Chí Công, Nguyễn Mạnh Nền, Vũ Thái Sơn

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Chân vịt biến bước là chân vịt có bước cánh thay đổi được trong quá trình hoạt động để phù hợp với các chế độ tải trọng trong quá trình khai thác, trong mọi chế độ khai thác chân vịt biến bước luôn đạt hiệu suất cao, cải thiện được khả năng điều động của tàu. Chân vịt biến bước thường được sử dụng cho các loại tàu có nhiều chế độ khai thác như tàu cá, tàu tuần tra, tàu lai dắt... Bài báo này sử dụng phương pháp số nghiên cứu đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước có đường kính 1m, tỷ số bước thiết kế $H/D = 0,6$, số vòng quay của trục chính là 629 vòng/phút và công suất máy là 155CV. Kết quả nghiên cứu của bài báo là cơ sở quan trọng để nâng cao hiệu suất khai thác, cải thiện đặc tính làm việc của chân vịt biến bước.

Từ khóa: Chân vịt biến bước; Tỷ số bước cánh H/D ; Mô phỏng số.

ABSTRACT

The controllable pitch propeller is a propeller whose pitch can be changed during operation to match the load modes during operation. In all operating modes, the controllable pitch propeller always achieves high efficiency, improving efficiency and improves the maneuverability of the ship. The controllable pitch propeller is often used for ships with multiple operating modes such as fishing boats, patrol boats, tugboats... In this paper numerical method is employed to study the hydrodynamic properties of a controllable pitch propeller. It has diameter of 1m, designed pitch ratio $H/D = 0.6$, the shaft revolutions of 629 rpm and the engine power of 155CV. The achieved results of the article are an important basis to improve the exploitation efficiency and the hydrodynamic performance characteristics of controllable pitch propellers.

Keywords: Controllable pitch propeller; Pitch ratio; CFD.



1. GIỚI THIỆU CHUNG

Chân vịt biến bước là chân vịt có bước cánh thay đổi được để phù hợp với các chế độ tải trọng của tàu do đó chân vịt luôn đạt hiệu suất cao, tiết kiệm nhiên liệu ở các chế độ khai thác khác nhau, đảm bảo tính cơ động cho tàu trong quá trình vận hành đặc biệt cho các loại tàu hoạt động trong tuyến luồng hẹp như tàu lai dặt, tàu đẩy. Cấu tạo của chân vịt biến bước gồm có cánh chế tạo rời liên kết với hệ thống điều khiển bước bằng đĩa xoay, đối với các tàu có công suất nhỏ dưới 300CV thì hệ thống điều khiển bước cánh thường là hệ thống cơ khí do có kết cấu đơn giản, dễ vận hành, bảo dưỡng và sửa chữa.

Trên thế giới, trong những năm gần đây, chân vịt biến bước cũng được đầu tư nghiên cứu về mặt lý thuyết nhằm cải thiện hiệu suất cánh chân vịt, tính năng điều khiển của hệ thống điều khiển bước cánh. Năm 2016, Bhattacharyya cùng các đồng nghiệp của mình tại Khoa Công nghệ Hàng hải, Đại học Khoa học và Công nghệ Na Uy đã sử dụng mô hình k- ω -SST nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ đồng dạng đến đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước làm việc trong ống đạo lưu. Một số kết quả chính đạt được của bài báo là tỷ số bước H/D của chân vịt có ảnh hưởng quan trọng đến đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước làm việc trong ống đạo lưu, tỷ số đồng dạng có ảnh hưởng lớn đến hệ số lực đẩy của ống đạo lưu và hệ số mô men của chân vịt [1]. Nhằm cải thiện khả năng phản hồi của hệ thống điều khiển bước cánh chân vịt biến bước, năm 2016, nhóm nghiên cứu của Rudzki thuộc Đại học Hàng hải Gdynia Ba Lan đã đưa ra mô hình hỗ trợ khả năng phản hồi của hệ thống chân vịt biến bước với sự hỗ trợ của máy tính, kết quả nghiên cứu được đăng trên tạp chí Journal of Ocean Engineering [2]. Năm 2019, tại Hội nghị Conference on Programmable Devices

and Embedded Systems PDES, Gebauer cùng các cộng sự tại Khoa Hệ thống Điều khiển và Thiết bị, Đại học Kỹ thuật Ostrava đã đề xuất hệ thống điều khiển bước cho tàu có trang bị chân vịt biến bước [3].

Trong nước, hệ thống chân vịt biến bước chủ yếu được trang bị cho một số tàu tuần tra, tàu cảnh sát biển của lực lượng Hải quân, các hệ thống chân vịt biến bước này chủ yếu được nhập từ nước ngoài nên giá thành rất cao. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp số nghiên cứu đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước sử dụng cho tàu cá đánh bắt xa bờ có công suất máy 155CV, từ đó đưa ra giải pháp nâng cao hiệu quả khai thác chân vịt biến bước.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Đặc tính thủy động lực học chân vịt

Theo lý thuyết, cánh chân vịt được coi là tập hợp vô số các profile cánh có chiều dày vô cùng nhỏ. Các hệ số thủy động lực học của chân vịt gồm có hệ số tiến J, hệ số lực đẩy K_T , hệ số mô men $10K_Q$ và hiệu suất chân vịt η .

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

Trong đó: n là vận tốc góc của chân vịt, ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, D là đường kính của chân vịt, J là hệ số tiến của chân vịt.

2.2. Các phương trình cơ bản trong tính toán mô phỏng số

Đối với dòng chất lỏng không nén được, chuyển động không dừng, các phương trình cơ bản dùng để mô tả đặc tính của nó là phương trình liên tục, Navier - Stokes được viết như sau [4-7]:

Phương trình liên tục:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

Phương trình Navier – Stokes:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (3)$$

Trong đó: ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, p là áp suất tĩnh của chất lỏng, $\mathbf{u}$ là vận tốc của dòng chất lỏng, $\mathbf{g}$ là gia tốc trọng trường.

3. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG SỐ

3.1. Thông số cơ bản của chân vịt, các trường hợp tính toán

Chân vịt biến bước sử dụng trong nghiên cứu này được trang bị cho tàu cá đánh bắt xa bờ có công suất máy 155CV, hệ thống cơ khí được sử dụng để thay đổi bước cánh chân vịt. Các thông số cơ bản của chân vịt.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của chân vịt biến bước:

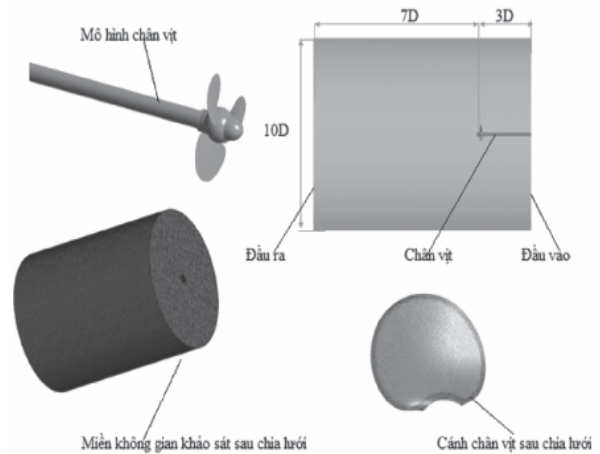
Stt	Tên	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính	1	m
2	Tỷ số bước ở chế độ tính toán thiết kế	0,6	
3	Bước ở chế độ tính toán thiết kế	0,6	m
4	Số vòng quay	629	v/ph
5	Số cánh	3	
6	Tỷ số bầu	0,3	
7	Góc nghiêng của cánh	0	độ
8	Góc xoắn của cánh	0	độ

Để khảo sát đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước, nhóm tác giả thực hiện

tính toán mô phỏng với 7 trường hợp với tỷ số bước cánh H/D lần lượt là 0,5; 0,52; 0,53; 0,55; 0,57; 0,59 và 0,6 tương ứng với hệ số tiến J 0,1 - 0,7.

3.2. Xây dựng mô hình, chia lưới, điều kiện biên

Để xác định kích thước miền không gian tính toán, nhóm tác giả đã tham khảo một số công trình có uy tín đã được công bố trên trang web khoa học ScienceDirect [8-13]. Miền không gian khảo sát là hình trụ với các kích thước được trình bày trên Hình 1. Miền không gian tính toán sau khi xây dựng được mô hình hoá bằng lưới đa diện đều bằng công cụ ICEM - meshing tool trong gói phần mềm Ansys. Miền không gian khảo sát, cánh chân vịt sau khi chia lưới và các thông số của lưới dùng để tính toán mô phỏng trên Hình 1, Bảng 2.



Hình 1. Mô hình bài toán và miền không gian sau khi chia lưới

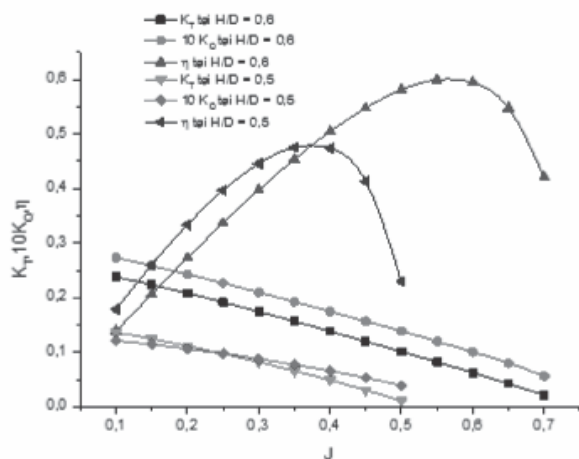
Mô hình rối hai phương trình RNG k- ϵ trong được sử dụng để tính toán xây dựng đường đặc tính của chân vịt biến bước. Thuật toán xác định mối quan hệ vận tốc áp suất được chọn là 'SIMPLE algorithm', điều kiện hội tụ khi tính toán được đặt cho các biến là 0,001.

Bảng 2. Thông số lưới của miền không gian khảo sát:

TT	Tên	Số nút	Số phần tử
1	Khối động	874406	171399
2	Khối tĩnh	1078232	205386
3	Toàn bộ	1952638	376785

4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

4.1. Đặc tính thủy động lực học chân vịt

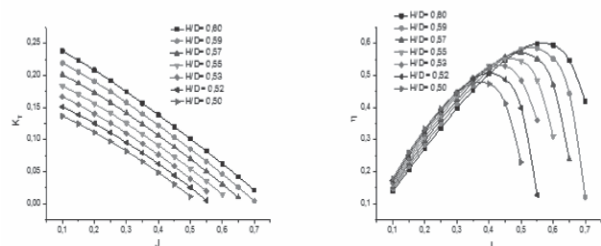


Hình 2. Đặc tính thủy động lực của chân vịt tại $H/D = 0,5$ và $H/D = 0,6$

Hình 2 là đường đặc tính chân vịt biến bước tại hai tỷ số bước cánh $H/D = 0,5$ và $0,6$. Từ đồ thị, ta thấy rằng hệ số lực đẩy và hệ số mô men của chân vịt giảm gần như tuyến tính với tỷ số J . Khi tỷ số J tăng thì hệ số lực đẩy K_T và hệ số mô men K_Q giảm, giá trị lớn nhất của hệ số lực đẩy và hệ số mô men lần lượt là 0,201 và 0,021 tương ứng với tỷ số $H/D = 0,6$ và $J = 0,1$. Hiệu suất lớn nhất của chân vịt biến bước tại hai tỷ số bước cánh $H/D = 0,5$, và $0,6$ lần lượt là 0,475; 0,599 tương ứng với $J = 0,4$ và $J = 0,55$. Khi tỷ số bước cánh tăng thì điểm đạt hiệu suất lớn nhất của chân vịt có xu hướng di chuyển sang bên phải tương ứng với hệ số tiến J lớn.

4.2. Ảnh hưởng của tỷ số bước đến đặc tính làm việc

Hình 3 là biến thiên hệ số lực đẩy và hiệu suất chân vịt tương ứng với các tỷ số bước cánh H/D khác nhau. Ở cùng một hệ số tiến J khi tỷ số bước cánh H/D tăng lên thì hệ số lực đẩy K_T cũng tăng, giá trị lớn nhất của hệ số lực đẩy đạt được là 0,235 tại $H/D = 0,5$ tương ứng với hệ số tiến $J = 0,1$. Hệ số lực đẩy giảm gần như tuyến tính khi hệ số tiến J tăng dần. Tỷ số bước cánh cũng có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất của chân vịt, khi H/D tăng trong phạm vi khảo sát 0,5 - 0,6 thì hiệu suất lớn nhất của chân vịt tăng lên, điểm có hiệu suất lớn nhất có xu hướng dịch chuyển sang phải tương ứng với hệ số tiến J lớn. Hiệu suất lớn nhất của chân vịt đạt được là 0,599 tại tỷ số bước cánh $H/D = 0,6$ và hệ số tiến $J = 0,55$.



Hình 3. Biến thiên hệ số lực đẩy, hiệu suất chân vịt tại các tỷ số bước H/D

5. KẾT LUẬN

Đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả khai thác của tàu, tỷ số bước cánh của chân vịt biến bước thay đổi sẽ làm cho đặc tính thủy động lực học của nó biến đổi theo làm thay đổi mối quan hệ thủy động lực học giữa máy chính - vỏ tàu - chân vịt. Xây dựng được đường đặc tính của chân vịt biến bước là cơ sở quan trọng để nâng cao hiệu quả khai thác tàu. Dưới đây là một số kết quả chính của bài báo.

- Đã sử dụng phương pháp số tính toán mô phỏng số, xây dựng đường đặc tính của chân vịt biến bước với công suất máy 155CV với tỷ số bước cánh H/D là 0,5 - 0,6;

- Tỷ số bước cánh H/D có ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính thủy động lực học của chân vịt biến bước. Khi tỷ số bước cánh H/D tăng lên trong phạm vi khảo sát, hiệu suất lớn nhất của chân vịt tăng lên, điểm đạt hiệu suất lớn nhất của chân vịt có xu hướng dịch chuyển sang phải tương ứng với hệ số tiến J lớn. Hiệu suất lớn nhất của chân vịt đạt được là 0,599 tại tỷ số bước cánh H/D = 0,6 và hệ số tiến J = 0,55.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.25.❖

Ngày nhận bài: 08/3/2022

Ngày phản biện: 16/3/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bhattacharyya, A., V. Krasilnikov, and S. Steen, *Scale effects on open water characteristics of a controllable pitch propeller working within different duct designs*. Ocean Engineering, 2016. 112: p. 226-242.
- [2]. Rudzki, K. and W. Tarelko, *A decision-making system supporting selection of commanded outputs for a ship's propulsion system with a controllable pitch propeller*. Ocean Engineering, 2016. 126: p. 254-264.
- [3]. Gebauer, J., et al., *Controller design for variable pitch propeller propulsion drive*. IFAC-PapersOnLine, 2019. 52(27): p. 186-191.
- [4]. Peyret, R., *Handbook of Computational Fluid Mechanics*. 1996: Publisher: Elsevier Science & Technology Books.
- [5]. MALALASEKERA, H.K.V.a.W., *An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method*. 1995: Longman scientific technical.
- [6]. ANSYS *Fluent Theory Guide*. 2013. 814.
- [7]. Slot, J.J., *Development of a centrifugal in-line separator for oil-water flows*. 2013, University of Twente, Enschede: Netherlands.
- [8]. Hu, J., et al., *Numerical simulation of Vortex-Rudder interactions behind the propeller*. Ocean Engineering, 2019. 190: p. 106446.
- [9]. Peters, A., U. Lantermann, and O. el Moctar, *Numerical prediction of cavitation erosion on a ship propeller in model- and full-scale*. Wear, 2018. 408-409: p. 1-12.
- [10]. Helal, M.M., et al., *Numerical prediction of sheet cavitation on marine propellers using CFD simulation with transition-sensitive turbulence model*. Alexandria Engineering Journal, 2018. 57(4): p. 3805-3815.
- [11]. Hu, J., et al., *Tip vortex prediction for contra-rotating propeller using large eddy simulation*. Ocean Engineering, 2019. 194: p. 106410.
- [12]. Long, Y., et al., *Numerical simulations of cavitating turbulent flow around a marine propeller behind the hull with analyses of the vorticity distribution and particle tracks*. Ocean Engineering, 2019. 189: p. 106310.
- [13]. Posa, A., R. Broglia, and E. Balaras, *LES study of the wake features of a propeller in presence of an upstream rudder*. Computers & Fluids, 2019. 192: p. 104247.
- [14]. IRA H. ABBOTT, A.E.V.D., *Theory of wing sections*. 1959.
- [15]. John D, A., Jr, *Fundamental of aerodynamics*. Mc Graw-hill.
- [16]. John P. Breslin, P.A., *Hydrodynamics Of Ship Propellers*. 1994: Cambridge university press.
- [17]. Carlton, J.S., *Marine Propellers and Propulsion*, ed. 2. 2007. 556.