

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC NGHIÊNG CÁNH ĐẾN SỰ THAY ĐỔI CÁC THÔNG SỐ THỦY ĐỘNG CỦA CHONG CHÓNG TÀU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP CFD

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF RAKE ANGLE ON THE HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF MARINE PROPELLERS BY CFD METHOD

ThS. Nguyễn Văn Quyết*, ThS. Lê Thị Mai
Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: quyetnv@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng mô hình CFD k- ω SST để phân tích ảnh hưởng của góc nghiêng cánh (θ) đến hiệu suất chong chóng B-Series. Kết quả cho thấy góc nghiêng tăng làm tăng đáng kể lực đẩy (K_T) và mô-men xoắn (K_Q) ở tải trọng cao, nhưng tác động đến hiệu suất (η_o) là không đáng kể. Nghiên cứu cung cấp cơ sở dữ liệu định lượng hỗ trợ kỹ sư thiết kế tối ưu lực đẩy, cải thiện hiệu suất chong chóng.

Từ khóa: Tàu thủy; Chong chóng; Bản vẽ; CFD; Góc nghiêng.

ABSTRACT

The study employs a k- ω SST CFD model to analyze the influence of the blade rake angle (θ) on the performance of a B-Series propeller. Results indicate that increasing the rake angle significantly enhances the thrust coefficient (K_T) and torque coefficient (K_Q) under high load conditions, but its impact on open water efficiency (η_o) is negligible. The research provides a quantified database to support designers in optimizing thrust reserve and controlling adverse flow phenomena such as cavitation.

Keywords: Ship; Propeller; Drawings; CFD; Rake.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những thập kỷ gần đây, phương pháp CFD dựa trên mô hình RANS đã có những bước phát triển vượt bậc trong phân tích chong chóng tàu thủy. Tuy nhiên, việc mô phỏng chong chóng vẫn gặp nhiều khó khăn do độ phức tạp hình học, dòng chảy rối, hiện tượng tách dòng, ảnh hưởng của lớp biên, trường dòng thức và xâm thực.

Các nghiên cứu trước đây về mô phỏng CFD cho chong chóng còn tồn tại một số hạn chế. Nghiên cứu của A N Hayati [1] chưa mô hình hóa chính xác thực tế do bỏ qua ảnh hưởng của củ chong chóng, làm giảm độ tin cậy của kết quả. Nghiên cứu của Funeno [2] cho kết quả chính xác nhưng phương pháp tạo lưới lại phức tạp và tốn thời gian.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về hiệu

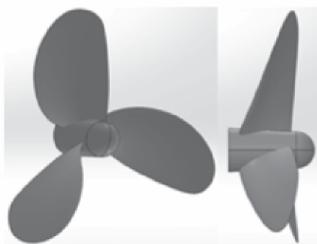
suất chong chóng tàu thủy, nhưng việc phân tích tác động của từng thông số hình học riêng lẻ, đặc biệt là góc nghiêng cánh (θ), vẫn còn hạn chế. Đề tài này được thực hiện nhằm cải thiện hạn chế đó bằng cách tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng cánh đến các thông số thủy động lực học của chong chóng, bao gồm lực đẩy (K_T), mô-men xoắn (K_Q) và hiệu suất (η_0). Phương pháp chính được sử dụng là động lực học chất lỏng và tính toán (CFD) để mô phỏng, phân tích chi tiết sự biến thiên của các thông số nêu trên. Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả, nghiên cứu sẽ kiểm soát các yếu tố ảnh hưởng như mật độ và phương pháp chia lưới.

Mục tiêu cuối cùng là cung cấp một cơ sở dữ liệu có giá trị, hỗ trợ cho việc tối ưu hóa thiết kế và vận hành chong chóng, từ đó góp phần nâng cao hiệu quả đẩy và tiết kiệm năng lượng cho tàu thủy.

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

2.1. Lựa chọn mô hình chong chóng

Nghiên cứu sử dụng chong chóng Wageningen B-series loại B3-50. Các thông số hình học chính của mỗi chong chóng được trình bày trong Bảng 1. Các mô hình này được tạo ra bằng cách sử dụng phần mềm dựng bản vẽ 3D chong chóng [3].



Hình 1. Mô hình chong chóng B3-50 với góc nghiêng cánh
(a) và (b) $\theta = 10^\circ$; (c) $\theta = -5^\circ$; (d) $\theta = 0^\circ$; (e) $\theta = 15^\circ$

Để đánh giá ảnh hưởng của góc nghiêng cánh lên các thông số thủy động, nghiên cứu đã tạo ra và mô phỏng ba mô hình chong chóng với các góc nghiêng cánh khác nhau lần lượt là -5° , 0° và 15° tương ứng hình 1(c) đến 1(e).

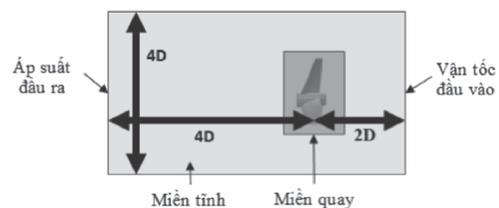
Bảng 1. Thông số chong chóng B3-50

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Đường kính chong chóng	$D = 250$	mm
Số cánh	$Z = 3$	
Tỷ lệ mặt đĩa	$A_c/A_0 = 0,55$	
Tỷ lệ bước	$H/D = 1,4$	
Kiểu chong chóng	Wageningen B	
Chiều quay	Phải	

2.2. Mô hình vật lý

Nghiên cứu sử dụng phương pháp hệ tọa độ quay trong CFD để mô phỏng chuyển động của chong chóng. Phương pháp này được chọn vì cung cấp kết quả tương đương với các kỹ thuật khác (như toàn miền quay và lưới trượt) nhưng tiết kiệm thời gian tính toán hơn. Để mô tả dòng rối, mô hình vật lý SST K-omega được sử dụng do độ tin cậy cao của nó trong các ứng dụng mô phỏng chong chóng.

2.3. Thiết lập điều kiện biên và kích thước miền mô phỏng



Hình 2. Vùng tính toán và điều kiện biên

• Thiết lập miền tính toán

Để nghiên cứu hiệu năng của chong

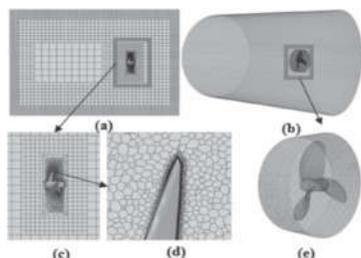
chóng trong dòng chảy đồng nhất và mô phỏng điều kiện nước hờ, một miền kiểm soát hình trụ đã được giả định bao quanh mỗi chong chóng. Kích thước miền tính toán được lựa chọn đủ lớn để tránh các ảnh hưởng bên ngoài tác động lên kết quả dự đoán hiệu năng của chong chóng [4].

• Điều kiện vận hành và tốc độ quay

Tốc độ quay của trục chong chóng được thiết lập cố định là 30 vòng/giây trong suốt nghiên cứu này [5].

Vận tốc dòng chảy đi vào qua biên đầu vào đã được thay đổi tương ứng với các giá trị khác nhau của hệ số tiến (J).

Điều kiện môi trường: Nước có khối lượng riêng $\rho = 1,02587 \text{ t/m}^3$ và độ nhớt động học $\nu = 1,188 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [5].



Hình 3. Chia lưới: (a) mặt cắt mô hình tính toán; (b) lưới mô hình tính toán; (c) lưới đa diện vùng quay; (d) đa diện quanh mép chong chóng; (e) lưới tinh chỉnh mặt chong chóng

2.4. Tạo lưới

• Lưới bề mặt và vùng tinh chỉnh

Các bề mặt cánh chong chóng được tạo lưới bằng phần tử tam giác. Các tam giác có kích thước nhỏ hơn, với chiều dài cạnh xấp xỉ 0.001D [1] (trong đó D là đường kính chong chóng), đã được sử dụng cho các khu vực gần gốc cánh, mép cánh và đầu mút cánh nhằm mục đích giảm

sát dòng chảy tốt hơn tại những khu vực này.

Các bề mặt còn lại được tạo lưới bằng các tam giác kích thước lớn hơn, với chiều dài cạnh xấp xỉ 0,1D [1].

• Mô hình hóa chuyển động và thể tích

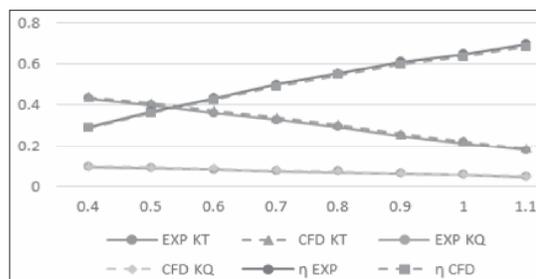
Để tính toán chính xác hơn dòng chảy giữa các cánh chong chóng, một vùng lưới quay đã được thiết lập xung quanh chong chóng (Hình 2).

Các khu vực còn lại trong miền tính toán được tạo lưới bằng phần tử tứ diện, với tốc độ tăng trưởng là 1.1 [4].

3. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

3.1. Kiểm chứng mô hình

Độ tin cậy của kết quả mô phỏng CFD được xác nhận thông qua việc so sánh với dữ liệu thực nghiệm (EFD) [5] với chong chóng có độ nghiêng 10° . Kết quả cho thấy mô hình CFD có xu hướng dự báo cao hơn một chút so với thực tế. Sai số trung bình nằm trong phạm vi chấp nhận được: Lực đẩy (K_T) 0.16% - 4.5%, Mô-men xoắn (K_Q) 1.5% - 5%, Hiệu suất (η_0): 0.6% - 3.45%. Với sai số trung bình đều dưới 5%, có thể kết luận rằng kết quả mô phỏng CFD hoàn toàn đáng tin cậy và phù hợp với kết quả thực nghiệm.

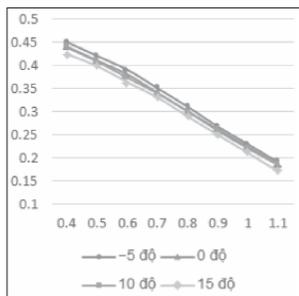


Hình 4. Đồ thị đặc tính của mô hình chong chóng với góc nghiêng 10° , so sánh đường CFD và đường thực nghiệm

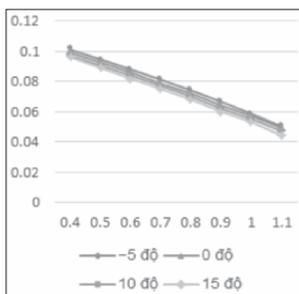
3.2. Kết quả hệ số lực đẩy

Kết quả nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của góc nghiêng đến hệ số lực đẩy (K_T). So với thông số động học của chong chóng tại góc nghiêng 10° thì góc nghiêng dương lớn (15°) làm giảm lực đẩy, đặc biệt rõ ở hệ số tiến lớn (J), với mức giảm lên đến $\sim 8\%$ tại $J = 1.1$. Nguyên nhân được cho là do hiện tượng tách dòng mạnh hơn và phân bố tải trọng kém tối ưu. Góc nghiêng -5° làm tăng lực đẩy từ 2.7% đến 3.3% trên toàn dải J . Sự cải thiện này có khả năng đến từ việc điều chỉnh góc tấn hiệu dụng, tạo ra phân bố áp suất tối ưu hơn trên bề mặt cánh, đặc biệt tại vùng mép cánh (Hình 5).

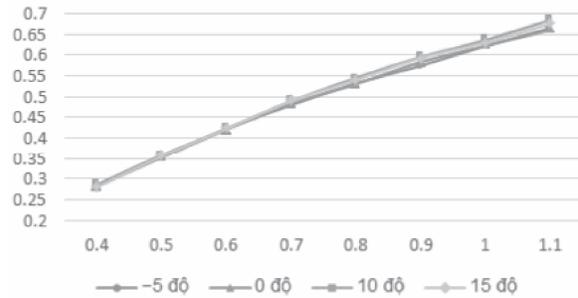
Dữ liệu cho thấy thấy K_Q tại -5° tăng từ 4.1% đến 6.4% so với góc nghiêng 10° . Khi góc nghiêng tăng từ 10° lên 15° , K_Q giảm từ 1% đến 6.4% so với giá trị tại góc 10° . Ảnh hưởng của việc điều chỉnh góc nghiêng lên K_Q lớn nhất ở $J = 1.1$ khi tăng góc từ 10° lên 15° làm giảm mô-men khoảng 6.4% (Hình 6).



Hình 5. Đồ thị hệ số lực đẩy



Hình 6. Đồ thị hệ số mô-men xoắn



Hình 7. Hiệu suất làm việc

Sự thay đổi hiệu suất với các góc nghiêng khác nhau không đáng kể trong phạm vi tải trọng chong chóng (Hình 7). Tuy nhiên, kết quả cho thấy hiệu suất của chong chóng giảm dao động từ 0.84% (tại $J = 0.4$) đến 2.92% (tại $J = 0.8$). Với góc nghiêng lớn hơn như 15° , hiệu suất giảm từ 2.09% (tại $J = 0.4$) đến 1.31% (tại $J = 1.1$). Nhìn chung, với J từ 0.8 đến 1.0 thì sự giảm hiệu suất càng lớn.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận: Nghiên cứu CFD này đã cung cấp một phân tích định lượng chi tiết về tác động của góc nghiêng cánh trên chong chóng B-Series trong điều kiện nước mở, sử dụng mô hình k-omega SST. Các kết luận chính bao gồm:

- Ảnh hưởng đến hệ số lực đẩy và mô-men xoắn: So với góc nghiêng chuẩn 10° , góc nghiêng âm (-5°) làm tăng cả K_T và K_Q , trong khi góc nghiêng dương lớn (15°) lại làm giảm cả hai hệ số này, đặc biệt ở hệ số tiến J cao. Sự thay đổi của K_Q thường có biên độ lớn hơn so với K_T .

- Hiệu suất tổng thể: Sự thay đổi góc nghiêng cánh có ảnh hưởng không đáng kể đến hiệu suất trong môi trường nước tự do, do K_T và K_Q biến thiên với tỷ lệ tương đương. Dữ liệu chỉ ra khi hệ số tiến từ $J = 0.9$ trở lên thì sự chênh lệch hiệu suất tăng lên.

Khuyến nghị: Phân tích thủy động lực với thay đổi tỷ số độ nghiêng (P/D) và góc nghiêng trong dòng chảy đồng nhất có xâm thực và không đồng nhất ở cả hai điều kiện xâm thực và không xâm thực.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT25-26.160. ❖

Ngày nhận bài: **12/11/2025**

Ngày phản biện: **24/11/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. A N Hayati, S M Hashemi, and M Shams (2012), “*A study on the effect of the rake angle on the performance of marine propellers*”. Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science 1989-1996 (vols 203-210) 226(4):940-955.
- [2]. I. Funeno (2011), “*Analysis of steady viscous flow around a highly skewed propeller*”. J. Kansai Soc. Naval Archit, 1999, 231, 1-6.
- [3]. KS. Nguyễn Văn Quyết, TS. Vũ Văn Tuyển (2016), “*Nghiên cứu tự động hóa quá trình thiết kế mô phỏng chong chóng tàu thủy bằng công nghệ*”. Tạp chí Giao thông vận tải, Số 7, tr. 106-108.
- [4]. ITTC (2014), “*ITTC- Recommended Procedures and Guidelines*”, 7.5-03-03-01.
- [5]. M.M.Bernitsas, D.Ray, P.Kinley, “*KT, KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*”. University of Michigan, 1981.