

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ QUẮM ĐẾN XÂM THỰC CỦA CHONG CHÓNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ NUMERICAL STUDY OF SKEW EFFECTS ON PROPELLER CAVITATION

HOÀNG THỊ MAI LINH

Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: linhhtm.dt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng độ quắm của cánh đến mức độ xâm thực của chong chóng bằng phương pháp số. Tác giả sử dụng hai mô hình chong chóng khác nhau, một mô hình chong chóng 4 cánh seri B và một mô hình chong chóng 5 cánh của tàu Princess Royal. Kết quả nghiên cứu trên hai mô hình chong chóng cho thấy, góc quắm tăng trong khoảng từ 15° đến 60° không ảnh hưởng tới hiệu quả thủy động lực học chong chóng, mang lại hiệu quả tốt trong giảm xâm thực trên bề mặt cánh chong chóng và có ảnh hưởng nhất định đến xâm thực xoáy mút cánh của chong chóng.

Từ khóa: Chong chóng, độ quắm, phương pháp số, xâm thực.

Abstract

the propeller cavitation by the numerical method. The research team use two different propeller models, a 4-bladed B series propeller model and a 5-bladed propeller model of Princess Royal vessel. The research results on these two propeller models show that an increase of propeller skew in the range of 15° to 60° does not affect the hydrodynamic efficiency, brings the positive effect on sheet cavitation reduction on the blade surface, and has a certain effect on the tip vortex cavitation.

Keywords: Propeller, skew, numerical method, cavitation.

1. Giới thiệu

Xâm thực là một hiện tượng không mong muốn, xuất hiện ở chong chóng khi nó hoạt động ở một số điều kiện tải trọng nhất định trong nước. Xung quanh chong chóng, tại những vị trí mà áp suất chất lỏng giảm xuống bằng hoặc thấp hơn áp suất hơi nước bão hòa sinh ra các bọt khí và phá hủy tính liên tục của chất lỏng, hiện tượng này được gọi là hiện tượng sủi bọt hay hiện tượng xâm thực của chong chóng [1]. Ngoài ảnh hưởng tới

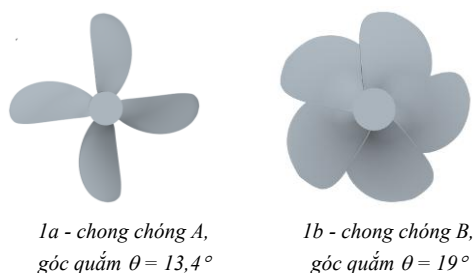
hiệu suất của chong chóng, xâm thực còn dẫn tới ăn mòn, phá hủy bề mặt chong chóng, đồng thời tạo rung động và tiếng ồn. Vì vậy, trong quá trình thiết kế chong chóng, ngoài mục tiêu nâng cao hiệu suất, mục tiêu hạn chế xâm thực và những tác động tiêu cực của xâm thực cũng rất được quan tâm nghiên cứu. Để đạt được các mục tiêu này, ngoài những giải pháp về công nghệ kỹ thuật, thiết bị [2, 3, 4] còn có những nghiên cứu cải tiến, tối ưu hóa hình dáng của chong chóng [5, 6]. Lý thuyết thiết kế chong chóng [1, 7] và một số kết quả nghiên cứu đã công bố [8, 9] cho thấy, các thông số chính của chong chóng bao gồm đường kính D , số cánh Z , tỉ số đĩa A_E/A_0 , tỉ số bước P/D , và các thông số khác của chong chóng như dạng mép cánh và tiết diện cánh, góc quắm θ và góc nghiêng cánh đều có ảnh hưởng tới xâm thực của chong chóng. Thể tích xâm thực của chong chóng giảm khi giảm kích thước đường kính D . Với tỉ số đĩa không đổi, tăng số lượng cánh chong chóng giúp giảm xâm thực. Lựa chọn tỉ số đĩa A_E/A_0 thích hợp có khả năng giảm xâm thực của chong chóng. Giảm tỉ số bước P/D hoặc tăng góc quắm θ một cách hợp lý cũng góp phần giảm xâm thực của chong chóng. Trong khi đó, góc nghiêng cánh không ảnh hưởng nhiều đến xâm thực.

Trong bài báo này, sử dụng phương pháp số, tác giả tập trung nghiên cứu và đánh giá ảnh hưởng của góc quắm đến mức độ xâm thực của hai mô hình chong chóng khác nhau, một mô hình chong chóng 4 cánh seri B và một mô hình chong chóng 5 cánh của tàu Princess Royal. Nghiên cứu cũng đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi góc quắm đến đặc tính thủy động lực học của các chong chóng.

2. Các mô hình chong chóng

Hình 1 biểu diễn các mô hình chong chóng được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: Mô hình chong chóng 4 cánh seri B đường kính 0,29m (Hình 1a - chong chóng A) và mô hình chong chóng 5 cánh của tàu Princess Royal đường kính 0,214m (Hình 1b - chong chóng B). Tăng góc quắm của chong chóng có hiệu quả tốt trong giảm xâm thực, đặc biệt khuyến nghị góc quắm có giá trị từ 45° đến 60° đồng thời mang lại hiệu quả giảm xâm thực và hiệu quả thủy

động lực học [9]. Vì vậy tác giả nghiên cứu 2 mô hình chong chóng này với các giá trị của góc quắm như được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Các mô hình chong chóng

Bảng 1. Các giá trị của góc quắm

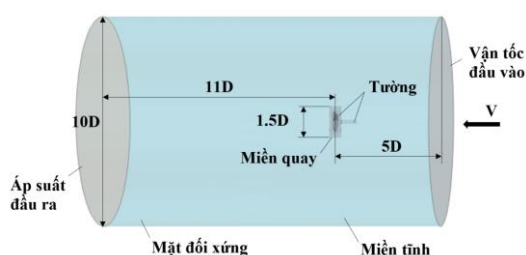
Chong chóng	Góc quắm θ , °		
A	13,4	26,8	53,5
B	19	38	57

3. Tính toán mô phỏng

Mục này trình bày chi tiết cách thức thiết lập tính toán mô phỏng bằng phương pháp số sử dụng phần mềm STAR CCM+ cho các mô hình chong chóng A và B quay tự do ở trạng thái xâm thực.

3.1. Thiết lập miền tính toán và các điều kiện biên

Kích thước miền tính toán và các điều kiện biên được thiết lập dựa trên khuyến nghị của ITTC [10] về tính toán mô phỏng chong chóng tự do bằng phương pháp CFD. Hình 2 biểu diễn kết quả sau khi thiết lập miền tính toán và các điều kiện biên phục vụ tính toán mô phỏng cho hai mô hình chong chóng A và B.

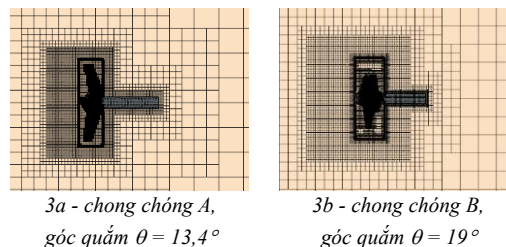


Hình 2. Miền tính toán và các điều kiện biên

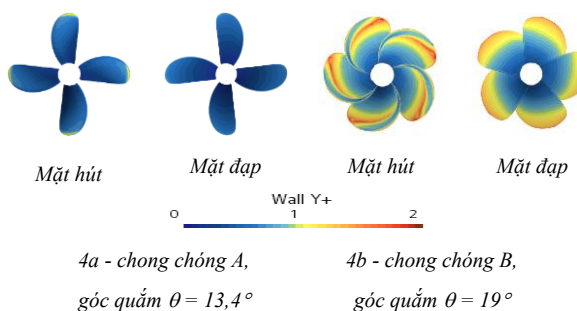
3.2. Tạo lưới

Tác giả sử dụng 3 loại lưới, bao gồm lưới bề mặt, lưới lục diện và lưới lăng trụ để thiết lập lưới cho các vùng khác nhau trong miền tính toán mô phỏng [11]. Lưới được làm mịn tại các vị trí như bề mặt cánh, đặc biệt tại mép cánh, chân cánh và mút cánh nhằm nâng cao chất lượng lưới, góp phần đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Kết quả tạo lưới cho miền tính toán của mô

hình chong chóng A và B có tổng số phần tử lưới lần lượt là 5,0 và 5,6 triệu phần tử (Hình 3). Giá trị y^+ được đảm bảo nhỏ hơn 2 cho lưới tính toán mô phỏng của cả 2 chong chóng A và B (Hình 4).



Hình 3. Kết quả tạo lưới



Hình 4. Giá trị y^+

3.3. Lựa chọn các mô hình và bước thời gian tính toán

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp DES (Detached Eddy Simulation), mô hình rối SST (Shear Stress Transport) K-Omega Detached Eddy để tính toán mô phỏng dòng chảy không ổn định xung quanh chong chóng bị xâm thực. Nghiên cứu cũng áp dụng phương pháp thể tích chất lỏng, mô hình đa pha đồng nhất và mô hình xâm thực Schnerr-Sauer để mô phỏng pha nước và hơi nước trong dòng chảy xâm thực [12]. Tác giả thiết lập bước thời gian tính toán $\Delta t = 2,5 \cdot 10^{-5}$ s dựa trên khuyến nghị của ITTC [10].

3.4. Thiết lập điều kiện làm việc của chong chóng

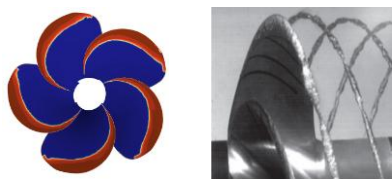
Các chong chóng cùng hoạt động trong môi trường nước và hơi nước có khối lượng riêng và độ nhớt động học lần lượt là $\rho_n = 997,44 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{hn} = 0,022 \text{ kg/m}^3$ và $\nu_n = 9,337 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $\nu_{hn} = 9,81 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$; có áp suất hơi nước bão hòa $P_v = 2873 \text{ Pa}$. Tác giả nghiên cứu 2 mô hình chong chóng ở các điều kiện tải trọng và xâm thực tương ứng với điều kiện thực hiện thử nghiệm mô hình trong ống thử xâm thực [13, 14]. Chi tiết điều kiện tải trọng và xâm thực của các chong chóng được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Điều kiện tải trọng và xâm thực

Thông số	Ký hiệu, Đơn vị	Chong chóng A	Chong chóng B
Bước tương đối	J, -	0,166	0,4
Số vòng quay	n, vòng/s	20	45,5
Áp suất ống thử ảo	Pa	33807,6	64638,5

4. Kết quả và thảo luận

Tác giả nghiên cứu hai mô hình chong chóng A và B ở các điều kiện tải trọng và xâm thực tương ứng với điều kiện thực hiện thử nghiệm mô hình trong ống thử xâm thực. Ngoài yêu cầu thỏa mãn quy luật đồng dạng động lực học, quy luật đồng dạng hình học của mô hình giữa mô phỏng và thử nghiệm cũng rất quan trọng và bắt buộc phải được đảm bảo; bởi nếu không đảm bảo các yêu cầu của quy luật đồng dạng, việc so sánh kết quả của hai phương pháp sẽ không mang lại giá trị tin cậy. Do không có đầy đủ dữ liệu về thông số hình dáng nên mô hình mô phỏng 3D của chong chóng A không đảm bảo đồng dạng hình học với mô hình trong thử nghiệm. Vì vậy, trong nghiên cứu này, các kết quả tính toán mô phỏng của chong chóng A không được so sánh với kết quả thử nghiệm. Tác giả chỉ thực hiện so sánh các kết quả của hai phương pháp đối với chong chóng B. Bảng 3 so sánh kết quả đặc trưng thủy động lực học dự đoán bằng phương pháp số với kết quả thử nghiệm của chong chóng B có góc quắm 19°. Sai lệch của các hệ số thủy động lực học (bao gồm hệ số lực đẩy K_T , hệ số mô men $10K_Q$ và hệ số hiệu suất η_0) giữa hai phương pháp nhỏ hơn 10% khẳng định độ tin cậy của kết quả dự đoán bằng phương pháp số. Kết quả mô phỏng xâm thực trên bề mặt cánh của chong chóng B với góc quắm 19° rất tương đồng với kết quả thử nghiệm mô hình như thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. So sánh kết quả xâm thực của chong chóng B với góc quắm 19° giữa phương pháp số (trái) và thử nghiệm [14] (phải)

Kết quả tính toán các đặc trưng thủy động lực học của hai mô hình chong chóng A và B với các giá trị góc quắm khác nhau được thể hiện lần lượt tại Bảng 4 và 5 cho thấy, các phương án tăng góc quắm (Bảng 1) gần như không ảnh hưởng đến hiệu quả thủy động lực học của cả hai chong chóng.

Hình 6 và 7 biểu diễn kết quả mô phỏng xâm thực

Bảng 3. So sánh kết quả thủy động lực học giữa phương pháp số và thử nghiệm của chong chóng B với góc quắm 19°

Hệ số	Phương pháp số	Thử nghiệm [14]	Sai số, %
K_T	0,251	0,242	3,7
$10K_Q$	0,372	0,341	9,1
η_0	0,425	0,455	6,6

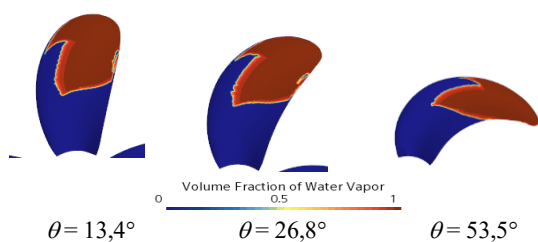
Bảng 4. Kết quả thủy động lực học của chong chóng A

Hệ số	Góc quắm θ , °		
	13,4	26,8	53,5
K_T	0,30	0,30	0,29
$10K_Q$	0,40	0,41	0,39
η_0	0,196	0,197	0,197

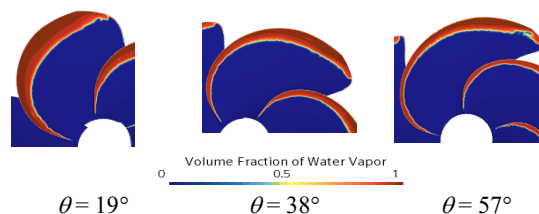
Bảng 5. Kết quả thủy động lực học của chong chóng B

Hệ số	Góc quắm θ , °		
	19	38	57
K_T	0,251	0,255	0,253
$10K_Q$	0,372	0,378	0,375
η_0	0,425	0,430	0,432

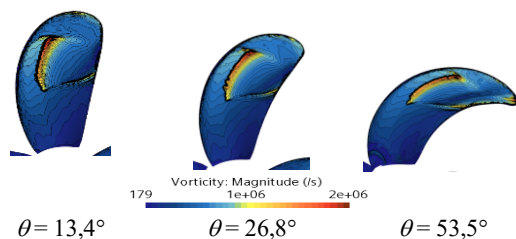
trên bề mặt cánh của chong chóng A và B với các giá trị góc quắm tăng dần. Quan sát sự thay đổi kết quả xâm thực của chong chóng A và B cho thấy, khi góc quắm tăng xâm thực trên bề mặt cánh có xu hướng dài và mảnh hơn. Có thể nhận thấy rõ ràng mức độ giảm xâm thực trên bề mặt cánh của chong chóng B khi góc quắm tăng từ 19° đến 57° trong Hình 7. Qua đó khẳng định, các phương án tăng góc quắm đã đưa ra tại Bảng 1 cho hai chong chóng A và B có hiệu quả tốt trong giảm xâm thực trên bề mặt cánh chong chóng. Sự thay đổi phân bố cường độ xoáy trên bề mặt cánh của hai chong chóng với góc quắm tăng dần (Hình 8 và 9), đặc biệt cường độ xoáy thay đổi nhiều tại vị trí gần mút cánh, cho phép dự đoán tăng góc quắm cũng có ảnh hưởng tới sự sụt bọt xoáy mút cánh. Tuy nhiên, do hạn chế về thời gian nghiên cứu tác giả đã đơn giản hóa lưới và phương pháp tính toán. Vì vậy xoáy mút cánh không được mô phỏng trong nghiên cứu này. Để



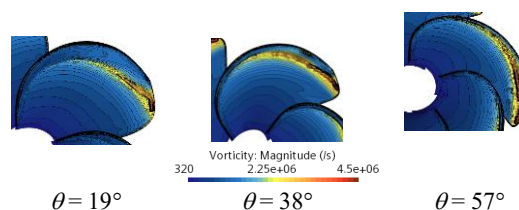
Hình 6. Xâm thực của chong chóng A với các giá trị góc quắm khác nhau



Hình 7. Xâm thực của chong chóng B với các giá trị góc quắm khác nhau



Hình 8. Phân bố cường độ xoáy trên bề mặt cánh của chong chóng A với các giá trị góc quắm khác nhau



Hình 9. Phân bố cường độ xoáy trên bề mặt cánh của chong chóng B với các giá trị góc quắm khác nhau

kết luận về mức độ ảnh hưởng của góc quắm tới xoáy mút cánh chong chóng, tác giả sẽ cần thực hiện nhiều nghiên cứu sâu hơn nữa.

5. Kết luận

Tác giả sử dụng phương pháp số tính toán các đặc trưng thủy động lực học của chong chóng ở trạng thái xâm thực và mô phỏng xâm thực cho hai mô hình chong chóng A và B với các giá trị góc quắm tăng dần. Đánh giá các kết quả thu được, tác giả đưa ra một số kết luận như sau: Các phương án tăng góc quắm đã đưa ra không ảnh hưởng tới hiệu quả thủy động lực học của chong chóng, có hiệu quả tốt trong giảm xâm thực trên bề mặt cánh chong chóng và có ảnh hưởng nhất định đến xâm thực xoáy mút cánh. Để đánh giá chi tiết hơn về mức độ ảnh hưởng của góc quắm tới xâm thực xoáy mút cánh, tác giả sẽ cần nghiên cứu sâu hơn và mô phỏng được loại xâm thực này của chong chóng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.32**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Hồng Bang, Nguyễn Tiến Lai (2010), *Thiết bị đẩy tàu thủy*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [2] M. Tadros, R. Vettor, M. Ventura, C. G. Soares (2022), *Effect of propeller cup on the reduction of fuel consumption in realistic weather conditions*,

Journal of Marine Science and Engineering, pp.1008-1039.

- [3] K. Mizzi, Y. K. Demirel, C. Banks, O. Turan, P. Kaklis (2017), M. Atlar, *Design optimization of propeller boss cap fins for enhanced propeller performance*, Journal Ocean Research, Vol.62, pp.210-222.
- [4] Hoang Thi Mai Linh, Bui Thanh Danh, Nguyen Thi Hai Ha (2023), *Numerical study on cavitation reduction using PressurePores technology*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol.1278.
- [5] S. Gaggero, D. Bertetta, S. Brizzolara, M. Viviani, L. Savio (2012), *CPP propeller cavitation and noise optimization at different pitches with panel code and validation by cavitation tunnel measurements*, Ocean Engineering, pp.177-195.
- [6] Chunyu Guo, Jian Hu, Weipeng Zhang, Chao Wang, Shili Sun, *Impact of skew on propeller tip vortex cavitation*, Ocean Engineering, 2021.
- [7] Nguyễn Văn Võ (2016), *Lý thuyết, kết cấu và thiết bị tàu thủy*, NXB Hàng hải, Hải Phòng.
- [8] A. F. C. Mohammad, G. Parviz, R. D. Seyed, S. Mehdi (2013), *Investigation of different methods of noise reduction for submerged marine propellers and their classification*, American J. of Mechanical Engineering, Vol.1, pp.33-42.

- [9] A. Ebrahimi, A.H. Razaghian, M. S. Seif, F. Zahedi, A. Nouri-Borujerdi (2019), *A comprehensive study on noise reduction methods of marine propellers and design procedures*, Applied Acoustics, Vol.150, pp.55-69.
- [10] ITTC (2014), *ITTC- Recommended Procedures and Guidelines*, 7.5-03-03-01.
- [11] Hoàng Thị Mai Linh, Lê Thanh Bình, Bùi Thanh Danh (2023), *Mô phỏng tính toán giảm xâm thực chong chống ứng dụng công nghệ lỗ hổng áp suất*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 74, tr.7-11.
- [12] Onur Usta, Emin Korkut (2018), *A study for cavitating flow analysis using DES model*, Journal Ocean Engineering, Vol.160, pp.397-411.
- [13] M. R. Bagheri, M. S. Seif, H. Mehdigholi, O. Yaakob (2015), *Analysis of hydrodynamics and noise prediction of the marine propellers under cavitating and non-cavitating conditions*, Journal Scientia Iranica B, Vol.22(5), pp.1918-1930.
- [14] G. Tani, B. Aktas, M. Viviani, M. Atlar (2017), *Two medium size cavitation tunnel hydro-acoustic benchmark experiment comparisons as part of a round robin test campaign*, Journal Ocean Engineering, Vol.138, pp.179-207.

Ngày nhận bài:	25/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	07/04/2025
Ngày duyệt đăng:	07/04/2025