

Nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng bằng phương pháp CFD

■ PGS. TS. TRẦN NGỌC TÚ; TS. LÊ THANH BÌNH; ThS. NGUYỄN THỊ THU QUỲNH

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng làm việc ở chế độ tự do bằng phương pháp CFD. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng là đáng kể và phụ thuộc vào mức độ hà bám trên cánh chong chóng và các bước tiến tương đối của chong chóng. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, phương pháp CFD có thể được sử dụng như một cách tiếp cận thực tế trong đánh giá ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến hiệu suất của chong chóng. Mô hình chong chóng Potsdam được sử dụng trong nghiên cứu để kiểm tra và chứng thực kết quả mô phỏng so với kết quả thử mô hình trong bể thử.

TỪ KHÓA: RANSE, chong chóng tự do, độ nhám, hà bám.

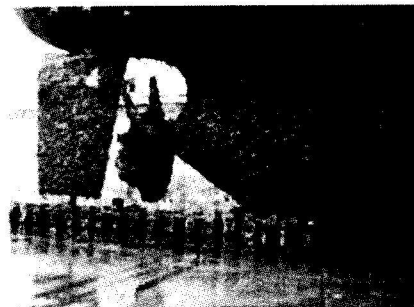
ABSTRACT: This paper presents the results study the effect of roughness on the performance of marine propeller by using CFD method. The effect of different roughness conditions on the propeller characteristics were carried out for various advance coefficients. The predicted obtained results show that, the effect of fouling on propeller characteristics is strong and depend on fouling conditions and advance coefficients. The study indicates the proposed CFD method which can be used as a practical approach to evaluate the effect of fouling conditions on propeller performance. The well-known Potsdam Propeller was used as test case in this study.

KEYWORDS: RANSE, propeller, open water, roughness.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình khai thác tàu, bề mặt ngâm nước thân tàu và chong chóng chịu ảnh hưởng của các yếu tố tác động như: sự ăn mòn; hư hỏng về cơ học; sự hư hại lớp sơn phủ; sự tích tụ của lớp sơn cũ sau mỗi lần lên đà sơn lại; hà bám; các vết xước trên mặt lớp sơn do việc trà bỏ

các rong rêu hà bám, độ bóng không tốt trước khi sơn lại. Kết quả làm cho bề mặt chong chóng không còn được như trạng thái như lúc đóng mới mà trở nên gồ ghề (Hình 1.1), đây chính là nguyên nhân làm thay đổi lực cản thân tàu và hiệu suất của chong chóng so với thời điểm đóng mới, từ đó dẫn đến sự thay đổi mối quan hệ giữa tốc độ tàu, vòng quay chong chóng và công suất máy chính của tàu.



Hình 1.1: Sự thay đổi trạng thái bề mặt cánh chong chóng dưới tác động của điều kiện khai thác

Mức độ ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến hiệu suất của chong chóng và lực cản thân tàu là khá lớn. Theo nghiên cứu của tác giả Demirel cùng các cộng sự [1] trên tàu container cỡ lớn, khi tàu bị vôi hóa nặng đã làm cho tốc độ tàu tổn thất đến 40% so với thời điểm đóng mới.

Việc áp dụng phương pháp CFD vào trong mô phỏng tính toán ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng cũng như lực cản thân tàu đã được nhiều các tác giả nghiên cứu [2,3,4,5,6]. Nhóm tác giả Soonseok Song cùng các cộng [6] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi đặc tính thủy động của chong chóng bằng CFD. Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả chỉ ra rằng, khi tăng độ nhám của cánh chong chóng sẽ làm giảm hệ số lực đẩy của chong chóng và làm tăng hệ số mô-men của chong chóng từ đó dẫn đến làm giảm hiệu suất của chong chóng. Với đối tượng nghiên cứu là chong chóng KP505 với độ nhám là 500 μm làm cho hiệu suất chong chóng giảm 19,3% so với chong chóng mới tại bước tiến tương đối $J=0,7$.

Nhóm tác giả David Owen cùng các cộng sự [5] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng tự do ở dạng tỷ lệ

mô hình bằng CFD với sự hỗ trợ của phần mềm Star-CCM+. Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả chỉ ra rằng, mức độ ảnh hưởng của độ nhám là khác nhau tại các bước tiến tương đối của chong chóng. Mức độ ảnh hưởng của độ nhám tăng dần khi bước tiến tương đối của chong chóng tăng. Khi cánh chong chóng bị vôi hóa nặng ứng với độ nhám là 10.000 μm , hiệu suất của chong chóng bị giảm đến 30,33%.

Các nghiên cứu đi trước kể trên đóng vai trò quan trọng trong việc áp dụng phương pháp CFD vào trong tính toán ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi lực cản thân tàu và hiệu suất của chong chóng. Tuy nhiên, các nghiên cứu này đa phần mới chỉ tập trung vào nghiên cứu mô phỏng, tính toán cho chong chóng ở dạng tỷ lệ mô hình. Bài báo này, trên cơ sở kế thừa các nghiên cứu đi trước sẽ tiến hành mô phỏng, tính toán ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi đặc tính thủy động của chong chóng làm việc ở điều kiện tự do dưới dạng tỷ lệ thực bằng phương pháp CFD.

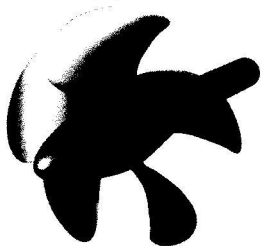
2. THIẾT LẬP MÔ PHỎNG

2.1. Mô hình chong chóng

Mô hình chong chóng được sử dụng trong nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất là chong chóng Potsdam [7]. Hình dáng và các thông số kỹ thuật của chong chóng này được trình bày trên Hình 1.1 và Bảng 2.1. Các số liệu về kết quả thử mô hình trong bể thử của chong chóng này được công bố trên website [7].

2.2. Phương pháp mô phỏng và mô hình vật lý

Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng phương pháp hệ tọa độ quay để mô phỏng chuyển động quay của chong chóng. Mô hình vật lý được sử dụng trong mô phỏng là mô hình chất lỏng thực RANSE với dòng chảy steady bởi dòng chảy đến chong chóng ở điều kiện tự do là dòng chảy đều, đồng nhất. Mô hình dòng chảy rối được sử dụng trong mô phỏng là mô hình dòng rối SST K-omega. Đây là mô hình dòng rối cho kết quả tin cậy hơn so với các mô hình dòng rối khác trong mô phỏng chong chóng [8]. Hàm tường sẽ được sử dụng để mô phỏng độ nhám của chong chóng. Trong đó mô hình hàm tường được biểu diễn qua phương trình (1) có dạng như sau [9]:



Hình 2.1: Mô hình chong chóng Potsdam

$$\Delta U^+ = \begin{cases} 0 & \rightarrow k^+ < 3 \\ \frac{1}{k} \ln(0.26k^+) \sin\left[\frac{\pi \log(k^+ - 3)}{2 \log(5)}\right] & \rightarrow 3 < k^+ < 15 \\ \frac{1}{k} \ln(0.26k^+) & \rightarrow 15 < k^+ \end{cases}$$

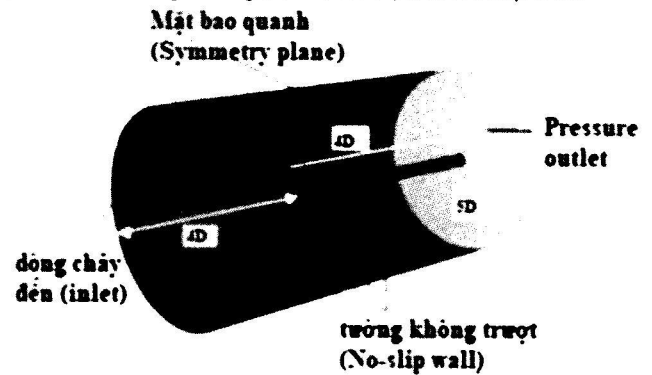
Trong đó: ΔU^+ - Hàm độ nhám; k^+ - Độ nhám số Reynolds; k - Hệ số von Karman.

Bảng 2.1. Các thông số kỹ thuật chong chóng Potsdam

Các thông số kỹ thuật	Đơn vị	Đơn vị	Giá trị
Đường kính chong chóng	D	m	3,00
Tỷ số đĩa	A_E/A_0	-	0,779
Tỷ số bước	$P_{0,7}/D$	-	1,6295
Số cánh	Z	-	5
Số vòng quay	n	rps	4,33
Độ nhám	k_s	μm	10
Chiều quay	-	-	Quay phải

2.3. Thiết lập kích thước miền tính toán và điều kiện biên

Theo khuyến nghị của ITTC [10], kích thước miền tính toán trong mô phỏng chong chóng hoạt động trong điều kiện tự do có dạng hình lăng trụ với đường kính gấp 4 lần đường kính chong chóng, biên trước và biên sau cách chong chóng một đoạn bằng 4 lần và 5 lần đường kính chong chóng. Điều kiện biên được áp dụng như sau: dòng chảy đến chong chóng là velocity inlet, dòng chảy sau chong chóng là pressure outlet, miền chất lỏng bao quanh chong chóng là symmetry plane, điều kiện biên áp dụng cho các phần của chong chóng (cánh, cù, trục) là No-slip wall.



Hình 2.2: Kích thước miền tính toán và điều kiện biên

2.4. Thiết lập điều kiện ban đầu và trường hợp tính

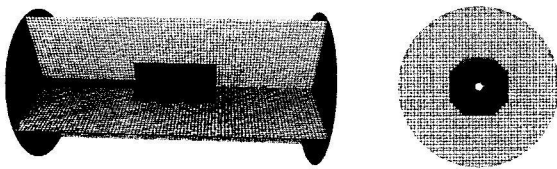
Điều kiện môi trường trong bể thử ảo được lấy giống như trong điều kiện thử thực tế với khối lượng riêng của nước $\rho = 1,02587 \text{ t/m}^3$, độ nhớt động học của nước $\nu = 1.188.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [7], vòng quay của chong chóng 4,33 rps. Việc mô phỏng tính toán sẽ được thực hiện trong dải bước tương đối J từ 0,60 đến 1,40 với bước là 0,2. Việc mô phỏng ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng được tiến hành tại 3 mức khác nhau gồm: trạng thái bề mặt chong chóng còn mới, trạng thái bề mặt chong chóng có rong rêu hà bám nặng và bề mặt chong chóng bị vôi hóa nhẹ. Độ nhám trung bình của các trạng thái rong rêu hà bám được trình bày trên Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Các trạng thái rong rêu hà bám trên cánh chong chóng [11]

Mô tả các trạng thái rong rêu hà bám trên cánh chong chóng	Độ nhám k_r (μm)
Bề mặt cánh nhẵn bóng	0
Khi lớp sơn phủ AF (Anti-Fingerprint Coating) chưa bị hư hỏng	10-30
Khi có sự hư hỏng lớp sơn hoặc chất nhớt do xên ốc nhả ra ít	100
Khi chất nhớt do xên ốc nhả ra bao quanh cánh chong chóng là khá lớn	300
Bề mặt cánh bị vôi hóa nhẹ	1000
Bề mặt cánh bị vôi hóa trung bình	3000
Bề mặt cánh bị vôi hóa nặng	10000

2.5. Chia lưới

Loại lưới được sử dụng trong nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng là lưới hexahedral và loại lưới prism layer dùng để giải lớp biên bao quanh chong chóng. Ở đây, số lượng lưới prism layer và chiều dày của nó sẽ được lựa chọn để giá trị y^+ luôn lớn hơn 30 và lớn hơn độ nhám số Reynolds k^+ [9]. Để số lượng lưới sử dụng là ít nhất trong khi vẫn đảm bảo được độ chính xác trong mô phỏng, lưới sẽ được làm mịn tại các vị trí quan trọng (như khu vực gần chong chóng, khu vực mép cánh). Kết quả chia lưới được trình bày trên Hình 2.3. Tổng số lưới ứng với 3 trường hợp độ nhám khác nhau được trình bày trên Bảng 2.3.



Hình 2.3: Kết quả chia lưới

Bảng 2.3. Tổng số lưới được sử dụng trong mô phỏng ở các độ nhám khác nhau

Trạng thái bề mặt cánh	Tổng số lưới
$k_s=10 \mu\text{m}$	$3,45 \times 10^6$
$k_s = 300 \mu\text{m}$	$3,32 \times 10^6$
$k_s = 300 \mu\text{m}$	$3,28 \times 10^6$

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Kiểm tra kết quả tính bằng CFD

Trong mô phỏng, tính toán CFD, để khẳng định mô hình tính (việc lựa chọn điều kiện biên, mô hình vật lý, cách chia lưới...) mà ta xây dựng là tin cậy thì ta cần phải so sánh kết quả mô phỏng với kết quả thử mô hình. Ở đây, nhóm tác sẽ so sánh kết quả mô phỏng ở điều kiện cánh chong chóng còn mới với kết quả thử mô hình. Từ kết quả so sánh trên Bảng 3.1 ta thấy rằng, kết quả tính toán mô phỏng khá sát với kết quả thử mô hình, đặc biệt là tại các bước tiến tương đối J nhỏ (từ 1,2 đến 7,8% đối với K_T , 0,7 đến 6,1% đối với K_Q ; từ 1,0 đến 2,9% đối với η_0). Sai số tương đối tăng lên khi bước tiến tương đối tăng đặc biệt là tại bước tiến $J = 1,6$ (bên kia sườn của đường cong). Tuy nhiên, xét dưới góc độ sai số tuyệt đối thì mức sai số thu được là xấp xỉ như

nhau ở các bước tiến tương đối J khác nhau.

3.2. Ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi các thông số thủy động lực học của chong chóng

Kết quả nghiên cứu mức độ ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi các thông số thủy động lực học của chong chóng được trình bày trên Bảng 3.1. Sự thay đổi này của chong chóng tại các trạng thái rong rêu hà bám khác nhau được so sánh với trạng thái chong chóng còn mới (kết quả thực nghiệm). Từ kết quả mô phỏng thu được trên Bảng 3.2, ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Sự thay đổi hiệu suất của chong chóng phụ thuộc vào mức độ rong rêu hà bám trên cánh chong chóng và mức độ ảnh hưởng là khác nhau tại các bước tương đối khác nhau của chong chóng. Cụ thể, khi bề mặt cánh chong chóng bị rong rêu bám nặng, hiệu suất của chong chóng giảm 3,34% tại $J = 0,8$ và tăng lên 11,73% và 22,95% tại $J = 1,4$ và $J = 1,6$. Trong điều kiện cánh chong chóng bị vôi hóa trung bình, mức giảm hiệu suất của chong chóng là 9,1% tại $J = 0,8$ và tăng lên 26,5 và 54% tại $J = 1,4$ và $J = 1,6$.

- Hệ số lực đẩy K_T của chong chóng giảm xuống khi mức độ rong rêu hà bám trên cánh chong chóng tăng và mức giảm là khác nhau tại các bước tương đối khác nhau của chong chóng. Cụ thể, khi bề mặt cánh chong chóng bị rong rêu bám nặng, hệ số lực đẩy K_T của chong chóng giảm 2,5% tại $J = 0,8$ và tăng lên 11,1% và 21,9% tại $J = 1,4$ và $J = 1,6$. Khi bề mặt cánh chong chóng bị vôi hóa ở mức trung bình, hệ số lực đẩy K_T của chong chóng giảm 6,4% tại $J = 0,8$ và tăng lên 22,6% và 46,9% tại $J = 1,4$ và $J = 1,6$.

- Hệ số mô-men K_Q của chong chóng tăng lên khi mức độ rong rêu hà bám trên cánh chong chóng tăng và mức tăng là gần như nhau tại các bước tương đối khác nhau của chong chóng và mức độ tăng hệ số mô-men nhỏ hơn nhiều mức độ giảm hệ số lực đẩy. Cụ thể, khi bề mặt cánh chong chóng bị rong rêu hà bám nặng, hệ số mô-men K_Q của chong chóng tăng trong dải từ 0,9% đến 1,2 tại bước tiến tương đối từ 0,8 đến 1,6. Khi bề mặt cánh chong chóng bị vôi hóa ở mức trung bình, hệ số mô-men K_Q của chong tăng 2,9% tại $J = 0,8$ và tăng lên 5,5 và 15,1% tại $J = 1,4$ và 1,6.

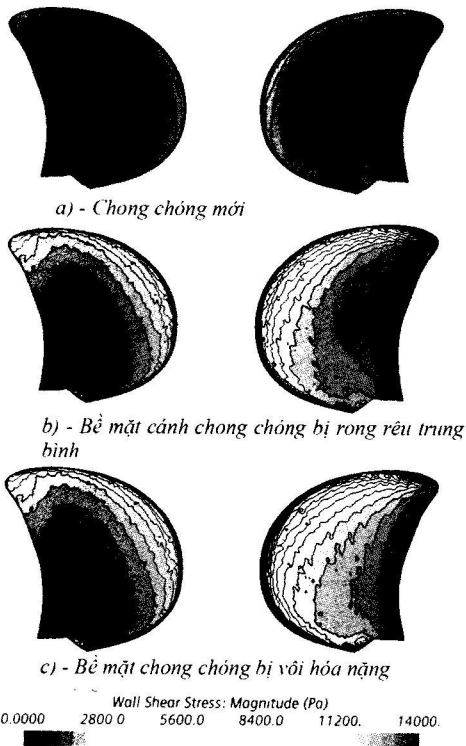
Sự thay đổi các thông số thủy động lực học của chong chóng dưới ảnh hưởng của rong rêu hà bám trên cánh chong chóng có thể giải thích được một phần qua sự thay đổi ứng suất tiếp trên mặt cánh chong chóng (Hình 3.1) và phân bố vận tốc dọc trục trên cánh chong chóng (Hình 3.2).

Bảng 3.1. Bảng kết quả tính toán các thông số thủy động của chong chóng trong điều kiện trong chong còn mới

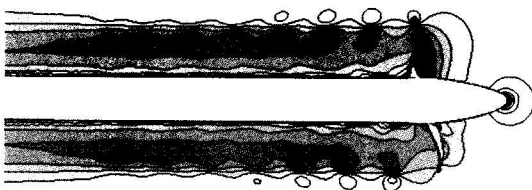
J	K_T			$10K_Q$			η_0		
	Kết quả thử	Tính toán bằng CFD	% sai số	Kết quả thử	Tính toán bằng CFD	% sai số	Kết quả thử	Tính toán bằng CFD	% sai số
0,8	0,512	0,505	1,4	1,168	1,187	-1,6	0,558	0,542	2,9
1,0	0,401	0,396	1,2	0,965	0,977	-1,2	0,662	0,645	2,6
1,2	0,297	0,287	2,0	0,766	0,759	0,7	0,74	0,722	1,3
1,4	0,19	0,182	4,2	0,549	0,532	3,1	0,77	0,762	1,0

Bảng 3.2. Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi các thông số thủy động của chong chóng

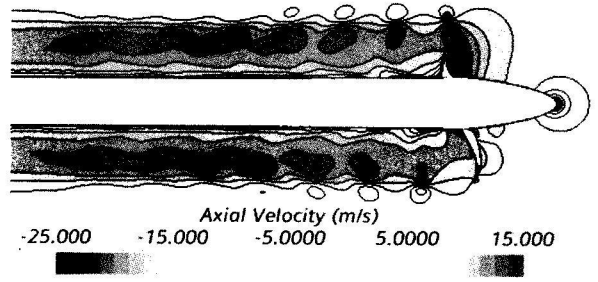
J	K_T			$10K_Q$			η_0		
	CFD	Mới	% thay đổi	CFD	Mới	% thay đổi	CFD	Mới	% thay đổi
ks=300 μ m (bề mặt cánh chong chóng bị rong rêu bám nặng)									
0,8	0,499	0,512	-2,5	1,178	1,168	0,9	0,539	0,558	-3,34
1,0	0,384	0,401	-4,2	0,973	0,965	0,8	0,628	0,662	-5,12
1,2	0,277	0,297	-6,7	0,775	0,766	1,2	0,683	0,74	-7,75
1,4	0,169	0,19	-11,1	0,554	0,549	0,9	0,680	0,77	-11,73
1,6	0,05	0,064	-21,9	0,282	0,279	1,1	0,452	0,586	-22,95
ks=3000 μ m (bề mặt chong chóng bị vôi hóa trung bình)									
0,8	0,479	0,512	-6,4	1,202	1,168	2,9	0,507	0,558	-9,1
1,0	0,362	0,401	-9,7	0,996	0,965	3,2	0,578	0,662	-12,6
1,2	0,256	0,297	-13,8	0,798	0,766	4,2	0,613	0,74	-17,2
1,4	0,147	0,19	-22,6	0,579	0,549	5,5	0,566	0,77	-26,5
1,6	0,034	0,064	-46,9	0,321	0,279	15,1	0,270	0,586	-54,0



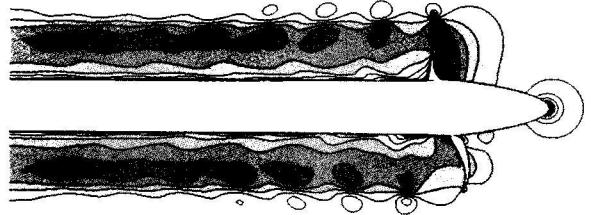
Hình 3.1: Phân bố ứng suất tiếp trên bề mặt cánh chong chóng



a) - Chong chóng mới



b) - Bề mặt cánh chong chóng bị rong rêu bám trung bình



c) - Bề mặt chong chóng bị vôi hóa nặng

Hình 3.2: Phân bố dòng chảy dọc trục phía sau chong chóng

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi các thông số thủy động lực học của chong chóng hoạt động trong điều kiện tự do bằng CFD, bài báo đã thu được những kết quả như sau:

- Bài báo đã thành công trong việc áp dụng CFD vào trong nghiên cứu ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng. Kết quả tính toán mô phỏng thu được đối với chong chóng mới rất gần với kết quả thử mô hình.

- Kết quả mô phỏng tính toán ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi các thông số thủy động lực học của chong chóng chỉ ra rằng, sự thay đổi hiệu suất của chong chóng phụ thuộc vào mức độ rong rêu hà bám trên cánh chong chóng và phụ thuộc vào các bước tiến tương đối khác nhau của chong chóng.

- Đã giải thích được bản chất vật lý ảnh hưởng của rong rêu hà bám đến sự thay đổi hiệu suất của chong chóng thông qua các hình ảnh về sự phân bố ứng suất tiếp trên cánh chong chóng, phân bố dòng chảy dọc trục phía sau chong chóng ở các độ nhám khác nhau của cánh.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT20-21.20.

Tài liệu tham khảo

[1]. Demirel, Y.K., O.Turan and A.J.A.O.R. Incecik (2017), *Predicting the effect of biofouling on ship resistance using CFD*, 62: pp.100-118.
 [2]. Suga, K., et al. (2006), *An analytical wall-function for turbulent flows and heat transfer over rough walls*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 27(5), pp.852-866.
 [3]. Apsley, D.J.F. (2007), *Turbulence and combustion, CFD calculation of turbulent flow with arbitrary wall roughness*, Flow, Turbulence and Combustion, 78(2): pp.153-175.

[4]. Aupoix, B. (2007), *A General Strategy to Extend Turbulence Models to Rough Surfaces: Application to Smith'sk-L Model*, Journal of Fluids Engineering, pp.129 (10), 1245-1254.

[5]. Owen, D., et al. (2018), *Investigating the effect of biofouling on propeller characteristics using CFD*, 159: pp.505-516.

[6]. Song, S., Y.K. Demirel and M. Atlar (2019), *An investigation into the effect of biofouling on full-scale propeller performance using CFD*, in International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers.

[7]. <https://www.sva-potsdam.de/en/ittc-benchmark/>.

[8]. Tu, T.N.J.A.E.J. (2019), *Numerical simulation of propeller open water characteristics using RANSE method*, 58(2): pp.531-537.

[9]. Demirel, Y.K., O. Turan and A. Incecik (2017), *Predicting the effect of biofouling on ship resistance using CFD*, Applied Ocean Research, 62, pp.100-118.

[10]. ITTC - Recommended Procedures and Guidelines (2014), *Practical Guidelines for Ship Self-Propulsion CFD*.

[11]. Schultz, M.P.J.B. (2007), *Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering*, 23(5): pp.331-341.

Ngày nhận bài: 15/02/2021

Ngày chấp nhận đăng: 17/3/2021

Người phản biện: PGS. TSKH. Đỗ Đức Lưu

TS. Đào Đức Tuấn