

Nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi đặc tính thủy động của chong chóng bằng phương pháp CFD

PGS. TS. TRẦN NGỌC TÚ^(*); ThS. PHẠM THỊ THANH HẢI; ThS. VŨ TUẤN ANH

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ^(*)tutn.dt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi đặc tính thủy động của chong chóng (hệ số mô-men, hệ số lực đẩy, hiệu suất) khi làm việc trong điều kiện tự do bằng phương pháp CFD. Sự khác nhau về dòng chảy bao quanh chong chóng khi hoạt động ở góc xiên khác nhau được chỉ ra và phân tích trong nghiên cứu này. Kết quả nghiên cứu tính toán có sự so sánh với kết quả đo trong bể thử nhằm khẳng định độ tin cậy của kết quả mô phỏng tính toán.

TỪ KHÓA: CFD, dòng chảy xiên, chong chóng.

ABSTRACT: This article presents the research results on the influence of oblique flow on hydrodynamic characteristics (thrust coefficient, moment coefficient, open-water efficiency) of propeller operating in open-water condition using CFD method. The difference in flow around the propeller when operating at different oblique angles is shown and analyzed in this paper. The computed results are compared with experimental data to verify and validate the numerical obtained results.

KEYWORDS: Oblique Flow, CFD, propeller.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thiết kế chong chóng tàu thủy, thông thường người thiết kế sẽ tính toán thiết kế chong chóng trong điều kiện dòng chảy thẳng (không xiên). Tuy nhiên, trong thực tế hoạt động, chong chóng có thể làm việc khác với điều kiện thiết kế, ví dụ như: Chong chóng được gắn trên các tàu cao tốc có hệ trục nghiêng, khi các tàu chạy ở chế độ chúi... Trong trường hợp này chong chóng sẽ làm việc ở điều kiện dòng chảy xiên, khi đó sự tương tác giữa chong chóng và chất lỏng sẽ khác so với điều kiện dòng chảy thẳng, dẫn đến sự thay đổi các đặc tính thủy động lực học của chong chóng so với khi hoạt động ở điều kiện dòng chảy thẳng [1-4]. Chính vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi các đặc tính thủy động lực học của chong chóng là rất quan trọng.

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến

các thông số thủy động của chong chóng bằng CFD đã được một số tác giả tiến hành nghiên cứu. Tác giả Guo cùng các cộng sự [2] đã sử dụng CFD vào trong phân tích sự khác nhau về dòng chảy bao quanh chong chóng khi làm việc ở các góc xiên khác nhau. Tác giả Zhang cùng các cộng sự [5] đã tiến hành phân tích lực dạt ngang do chong chóng tạo ra khi hoạt động trong điều kiện dòng chảy xiên ở chế độ tự do và sau thân tàu bằng phương pháp CFD. Tác giả Nouroozi [1] và các cộng sự đã tiến hành đánh giá ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến hiệu suất của chong chóng P4119 lắp trên tàu DTMB bằng phương pháp CFD. Kết quả tính toán của nhóm tác giả có sự so sánh với kết quả thử mô hình ở điều kiện dòng chảy thẳng.

Các công trình nghiên cứu của một số tác giả nêu trên là nguồn tham khảo bổ ích cho nhóm tác giả trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi các thông số thủy động của chong chóng. Bài báo này, trên cơ sở kế thừa các kết quả nghiên cứu đi trước, sẽ tiến hành mô phỏng tính toán sự thay đổi các thông số thủy động của chong chóng dưới ảnh hưởng của dòng chảy xiên bằng phương pháp CFD. Phân tích sự khác nhau về dòng chảy bao quanh chong chóng khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau nhằm giải thích một cách trực quan nhất bản chất dẫn đến sự thay đổi các đặc tính thủy động của chong chóng. Chong chóng được sử dụng trong nghiên cứu này là chong chóng PPTC ở dạng tỷ lệ mô hình.

2. GIỚI THIỆU VỀ CHONG CHÓNG PPTC

Chong chóng được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu trong bài báo này là chong chóng PPTC, do đây là chong chóng mà mô hình 3D cũng như kết quả thực nghiệm của chong chóng này ở điều kiện dòng chảy thẳng và dòng chảy xiên (tại góc 12°) có thể tiếp cận được tự do ở trên mạng [6, 7]. Hình ảnh và các thông số hình học của chong chóng PPTC được thể hiện trên Hình 2.1 và Bảng 2.1.



Hình 2.1: Chong chóng PPTC

Bảng 2.1. Các thông số hình học của chong chóng PPTC

Các thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Đường kính chong chóng	D	[m]	0,250
Tỷ số bước tại 0,75D	$P_{0,75}/D$	[-]	1,635
Tỷ số đĩa của chong chóng	A_z/A_0	[-]	0,779
Góc nghiêng cánh	θ_{eff}	[Độ]	18,80
Số lượng cánh	Z	[-]	5
Vòng quay chong chóng	n	[rps]	15,0

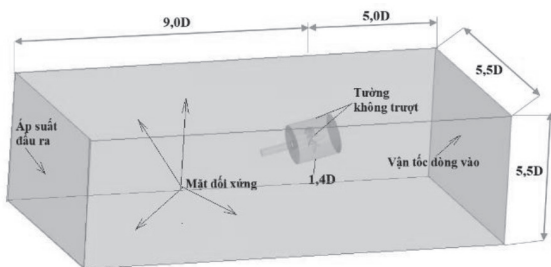
3. MÔ PHỎNG SỐ

3.1. Các trường hợp tính

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi đặc tính thủy động của chong chóng sẽ được thực hiện ở 4 góc xiên (β) gồm: 0° , 4° , 8° và 12° . Chong chóng hoạt động ở chế độ tự do, các thông số về điều kiện môi trường (khối lượng riêng của nước, độ nhớt) được lựa chọn giống như trong bể thử [6, 7].

3.2. Thiết lập tính toán

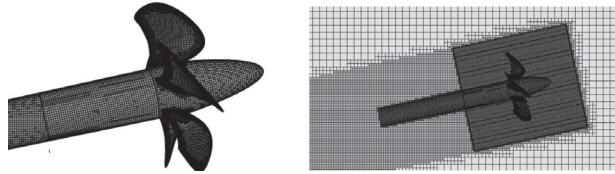
Trong mô phỏng chong chóng bằng CFD, ta cần phải xây dựng miền tính toán, lựa chọn loại điều kiện biên, lựa chọn lưới và chia lưới, lựa chọn mô hình vật lý và thiết lập các tính toán ban đầu [8]. Khi chong chóng hoạt động ở điều kiện dòng chảy xiên, dòng chảy đến từng cánh chong chóng sẽ thay đổi theo thời gian [9]. Chính vì vậy, để mô phỏng chong chóng ở điều kiện này thì cần sử dụng phương pháp lưới trượt. Khi đó, miền tính toán cần phải chia ra thành hai miền gồm miền tính toán tĩnh chung bên trong đó là miền tính toán con nằm phía trong miền tính toán tĩnh, miền tính toán này bao quanh chong chóng. Kích thước của các miền tính toán này được lựa chọn căn cứ vào đường kính của chong chóng như trên Hình 3.1 [8, 10]. Loại điều kiện biên được áp cho bài toán này được lựa chọn như sau: Biên phía trước và phía sau của miền tính toán tĩnh lần lượt là vận tốc dòng vào và áp suất đầu ra. Biên phía trên, dưới và hai mặt cạnh của miền tính toán tĩnh là mặt đối xứng. Đối với chong chóng và bề mặt chung giữa 2 miền tính toán loại điều kiện biên được sử dụng là tường không trượt.



Hình 3.1: Kích thước miền tính toán và điều kiện biên

Miền tính toán được rời rạc hóa bằng việc sử dụng lưới khối trimmed. Lưới mịn được sử dụng tại các khu vực quan trọng như miền tính toán con bao quanh chong chóng, tại khu vực dòng chảy phía sau chong chóng để có thể bắt được chính xác dòng chảy đến, ra và bao quanh chong chóng. Lưới lăng trụ được sử dụng để mô phỏng dòng

chảy sát tường. Số lượng và chiều dày của lớp lưới lăng trụ đầu tiên được lựa chọn trên cơ sở đảm bảo giá trị $Y+$ trung bình là nhỏ hơn 5. Kết quả chia lưới được thể hiện trên Hình 3.2.



Hình 3.2: Kết quả tạo lưới ở góc xiên $\beta=12^\circ$

Mô hình vật lý được lựa chọn trong bài toán này là mô hình chất lỏng nhớt RANSE. SST K- ω là mô hình dòng rối được sử dụng trong nghiên cứu này bởi đây là mô hình dòng rối cho kết quả tính tin cậy và gần với kết quả thử mô hình [8].

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bước đầu tiên trong mô phỏng tính toán bằng CFD nói chung là cần tiến hành nghiên cứu sự hội tụ của lưới. Ở đây, sự hội tụ của lưới được xác định theo đúng hướng dẫn của ITTC. Kết quả xác định sự hội tụ của lưới tại $J=1,40$ với 3 số lượng lưới lần lượt là 1,65, 3,85 và 7,43 triệu lưới, chỉ ra rằng kết quả có sự hội tụ đơn điệu và sự chênh lệch về kết quả thu được khi sử dụng lưới cỡ trung và lưới mịn là rất nhỏ. Chính vì vậy, lưới cỡ trung (3,85 triệu lưới) sẽ được sử dụng để tính toán ảnh hưởng của góc xiên đến sự thay đổi các đặc tính thủy động của chong chóng.

Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến các đặc tính thủy động của chong chóng, có sự so sánh với kết quả thử ở trường hợp dòng chảy thẳng $\beta = 0^\circ$ và dòng chảy xiên góc 12° được trình bày trên Bảng 4.1 và các hình từ 4.1 đến 4.3. Từ kết quả so sánh trên Bảng 4.1, ta thấy sai số giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm ở trường hợp góc xiên $\beta = 0^\circ$ và 12° là khá nhỏ (sai số giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm được xác định theo công thức (1)). Cụ thể, sai số về hệ số lực đẩy, hệ số mô-men và hiệu suất của chong chóng lần lượt nằm trong dải từ 0 đến 2,27%, 0,51 đến 4,59% và 0,06 đến 4,81%. Kết quả mô phỏng trên Bảng 4.1 và các hình 4.1 đến 4.3 chỉ ra rằng, góc xiên có ảnh hưởng không lớn đến hệ số lực đẩy của chong chóng ở các góc xiên đang xét, nhưng ảnh hưởng khá lớn đến hệ số mô-men đặc biệt là tại góc xiên lớn, từ đó ảnh hưởng đến hiệu suất của chong chóng. Cụ thể, sự thay đổi về hệ số lực đẩy, hệ số mô-men và hiệu suất của chong chóng khi chong chóng hoạt động ở các góc xiên khác nhau so với khi hoạt động ở dòng chảy không xiên lần lượt là $(-0,15\%) \div (+1,45\%)$ đối với K_{Tx} , $0,5\% \div 8,67\%$ đối với K_{Ox} và $(-0,30) \div (-7,85\%)$ đối với η_0 . Ở đây, sự thay đổi về các thông số thủy động của chong chóng khi hoạt động ở dòng chảy xiên so với dòng chảy thẳng được xác định theo công thức (2).

$$E\%D = \frac{CFD - EFD}{EFD} \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta K_{Tx} = \frac{(K_{Tx})_{\beta i} - (K_{Tx})_{\beta 0}}{(K_{Tx})_{\beta 0}} \times 100\%;$$

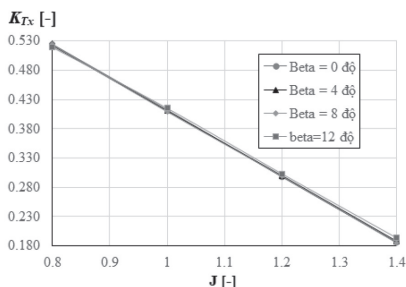
$$\Delta K_Q = \frac{(K_Q)_{\beta i} - (K_Q)_{\beta 0}}{(K_Q)_{\beta 0}} \times 100\%;$$

$$\Delta \eta_0 = \frac{(\eta_0)_{\beta i} - (\eta_0)_{\beta 0}}{(\eta_0)_{\beta 0}} \times 100\%;$$

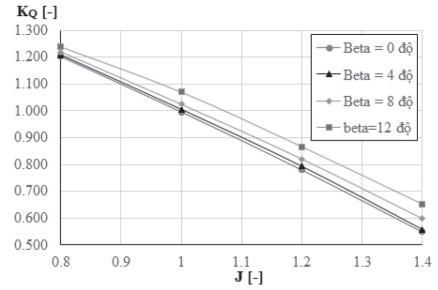
Bảng 4.1. Kết quả tính toán so với kết quả thực nghiệm

J	K_{Tx} [-]				$10K_Q$ [-]				η_0 [-]			
	CFD	EFD [6, 7]	E%D [%]	ΔK_{Tx} [%]	CFD	EFD [6, 7]	E%D [%]	ΔK_{Qx} [%]	CFD	EFD [6, 7]	E%D [%]	$\Delta \eta_0$ [%]
Dòng chảy thẳng $\beta = 0^\circ$												
0,8	0,524	0,510	2,79	/	1,203	1,178	2,08	/	0,555	0,551	0,70	/
1,0	0,410	0,399	2,71	/	0,996	0,975	2,17	/	0,655	0,652	0,53	/
1,2	0,298	0,295	1,04	/	0,780	0,776	0,51	/	0,730	0,726	0,53	/
1,4	0,186	0,188	-0,94	/	0,549	0,559	-1,76	/	0,755	0,749	0,83	/
Dòng chảy xiên $\beta = 4^\circ$												
0,8	0,523	/	/	-0,15	1,209	/	/	0,50	0,551	/	/	-0,30
1,0	0,409	/	/	-0,61	1,006	/	/	0,83	0,647	/	/	-0,97
1,2	0,297	/	/	-0,19	0,794	/	/	1,16	0,718	/	/	-1,27
1,4	0,185	/	/	-0,19	0,559	/	/	0,83	0,737	/	/	-1,45
Dòng chảy xiên $\beta = 8^\circ$												
0,8	0,522	/	/	-0,42	1,220	/	/	1,43	0,545	/	/	-0,84
1,0	0,411	/	/	-0,32	1,025	/	/	2,38	0,638	/	/	-1,75
1,2	0,300	/	/	0,38	0,821	/	/	3,39	0,698	/	/	-2,62
1,4	0,188	/	/	0,40	0,599	/	/	4,15	0,700	/	/	-4,59
Dòng chảy xiên $\beta = 12^\circ$												
0,8	0,519	0,509	1,96	-0,99	1,238	1,215	1,91	2,96	0,534	0,533	0,06	-1,77
1,0	0,415	0,404	2,72	0,53	1,070	1,023	4,59	6,15	0,617	0,629	-1,78	-3,44
1,2	0,303	0,303	0,00	0,95	0,867	0,838	3,40	7,19	0,668	0,691	-3,29	-5,14
1,4	0,194	0,198	-2,22	1,45	0,653	0,636	2,72	8,67	0,660	0,694	-4,81	-7,87

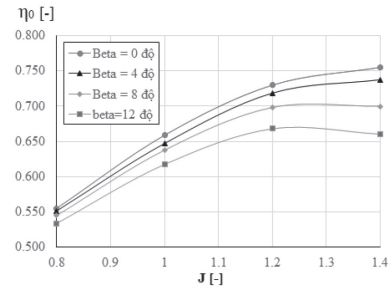
Các ký hiệu trong các biểu thức (1) và (2) được hiểu như sau: CFD - Kết quả tính toán bằng CFD; EFD - Kết quả thực nghiệm; $(K_Q)_{\beta 0}$, $(K_{Tx})_{\beta 0}$, $(K_Q)_{\beta 0}$, $(\eta_0)_{\beta 0}$; $(K_Q)_{\beta i}$, $(K_{Tx})_{\beta i}$, $(\eta_0)_{\beta i}$ - Lần lượt là hệ số mô-men, hệ số lực đẩy và hiệu suất của chong chóng khi hoạt động ở dòng chảy thẳng và ở các dòng chảy xiên khác nhau.



Hình 4.1: Ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến hệ số lực đẩy ở các J khác nhau

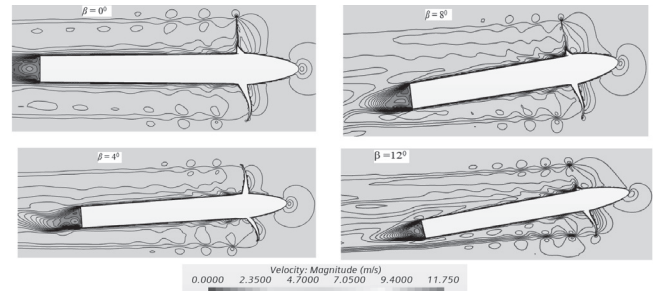


Hình 4.2: Ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến hệ số mô-men ở các J khác nhau

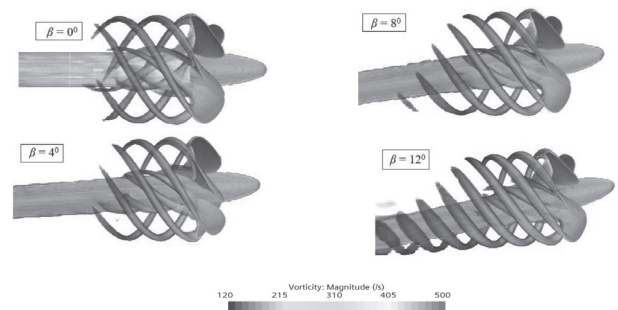


Hình 4.3: Ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến hệ số hiệu suất của chong chóng ở các J khác nhau

Sự thay đổi về các thông số thủy động của chong chóng khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau có thể được giải thích một cách trực quan thông qua các hình ảnh về dòng chảy bao quanh chong chóng như được thể hiện trên các hình từ 4.4 đến 4.6.



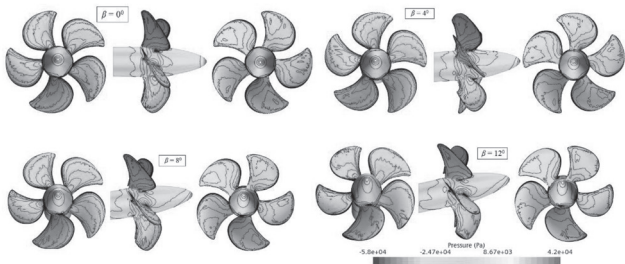
Hình 4.4: Sự khác nhau về vận tốc dọc trục phía sau chong chóng tại J=1,4 khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau



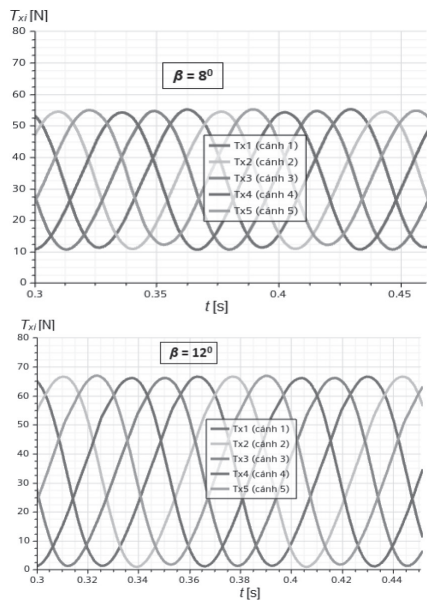
Hình 4.5: Sự khác nhau về xoáy mép cánh tại J=1,4 khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau

Quan sát trên Hình 4.4, ta có thể thấy vận tốc dòng chảy dọc trục của chong chóng khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau có sự bất đối xứng qua trục chong chóng, sự bất đối xứng này tăng lên khi tăng góc xiên. Tiếp theo

đó là sự không đối xứng trong phân bố áp suất trên bề mặt cánh chong chóng (Hình 4.6), sự không đối xứng này sẽ tạo sự khác nhau và dao động về lực đẩy trên từng cánh chong chóng khi cánh chong chóng ở các vị trí tương đối khác nhau và biên độ dao động của lực đẩy trên từng cánh sẽ tăng lên khi góc xiên tăng, điều này được thể trên Hình 4.7.



Hình 4.6: Sự khác nhau về phân bố áp suất trên bề mặt cánh chong chóng tại $J=1,4$ khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau



Hình 4.7: Sự thay đổi lực đẩy trên từng cánh chong chóng theo thời gian tại $J=1,4$ khi hoạt động ở góc xiên $\beta=8$ và 12 độ

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã thành công trong tính toán ảnh hưởng của dòng chảy xiên đến sự thay đổi các thông số thủy động của chong chóng bằng phương pháp CFD. Cụ thể, bài báo đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Đã mô phỏng, tính toán được sự thay đổi hệ số lực đẩy, hệ số mô-men và hiệu suất của chong chóng khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau. Kết quả mô phỏng cho sai số rất nhỏ so với kết quả thực nghiệm ở góc xiên bằng 0 và góc xiên bằng 12 độ.
- Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tăng góc xiên thì hiệu suất chong chóng giảm. Mức giảm phụ thuộc vào bước tương đối của chong chóng.
- Đã đưa ra và phân tích được sự khác nhau về dòng chảy bao quanh chong chóng khi hoạt động ở các góc xiên khác nhau.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.26.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hossein NourooziHamid Zeraatgar (2020), *Propeller hydrodynamic characteristics in oblique flow by unsteady RANSE solver*, Polish Maritime Research, no.1, 6-17.
- [2]. Hai-peng Guo, et.al. (2019), *Numerical investigation on the hydrodynamic characteristics of a marine propeller operating in oblique inflow*, Applied Ocean Research 9, 101969.
- [3]. Giulio Dubbioso, et. al. (2013), *Analysis of the performances of a marine propeller operating in oblique flow*, Computers & Fluids 75, 86-102.
- [4]. Reza ShamsiHassan Ghassemi (2017), *Determining the hydrodynamic loads of the marine propeller forces in oblique flow and off-design condition*, Iranian Journal of Science Technology, Transactions of Mechanical Engineering 41, 121-127.
- [5]. Yu-xin Zhang, Kang Chen and Da-peng Jiang (2020), *CFD analysis of the lateral loads of a propeller in oblique flow*, Ocean Engineering 202, 107153.
- [6]. Mitja Morgut, Enrico Nobile, Dragica Jošt and Aljaž Škerlavaj (2015), *Numerical predictions of the PPTC model propeller in oblique flow*, The Fourth International Symposium on Marine Propulsors smp'15.
- [7]. <https://www.sva-potsdam.de/en/ittc-benchmark/>.
- [8]. Tran Ngoc Tu (2019), *Numerical simulation of propeller open water characteristics using RANSE method*, Alexandria Engineering Journal 58, no.2, 531-537.
- [9]. Tran Ngoc Tu, Nguyen Manh Chien (2018), *Comparison Of Different Approaches For Calculation Of Propeller Open Water Characteristic Using RANSE Method*, Naval Engineers Journal 130, no.1, 105-111.
- [10]. Judyta Felicjancik, et al. (2016), *Numerical simulations of hydrodynamic open-water characteristics of a ship propeller*, Polish Maritime Research 23, no.4, 16-22.

Ngày nhận bài: 16/01/2024
Ngày nhận bài sửa: 02/02/2024
Ngày chấp nhận đăng: 18/02/2024