LỰA CHỌN TỶ SỐ TRUYỀN PHÙ HỢP CHO CỤM CHÂN VỊT LẮP NGOÀI SUZUKI DF 9.9 SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ ĐIỆN

SELECTION OF MECHANICAL GEAR RATIOS FOR SUZUKI DF 9.9 WITH ELECTRIC MOTOR

Lê Hải Sơn, Phạm Minh Triết, Ngô Khánh Hiếu
Bộ môn Kỹ thuật Hàng không, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM
haison19952013@gmail.com, ngokhanhhieu@hcmut.edu.vn

Tóm tắt: *Hiện nay việc sử dụng các loại tàu, thuyền có gắn các cụm máy chân vịt cỡ nhỏ đã dần trở nên phổ biến. Dựa trên nền tảng về kích thước hình học của chân vịt đi theo cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9 ở những nghiên cứu trước, trong bài viết này chúng tôi sẽ ứng dụng phần mềm mã nguồn mở OpenFOAM để thực hiện khảo sát ngược đặc tính về thủy động học của chân vịt 225×205 mm, ba lá cánh đi kèm với cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9. Mô hình rối k-ε sẽ được chọn để áp dụng trong việc tính toán. Các kết quả thu được từ mô phỏng số sẽ được đánh giá và so sánh với các kết quả thực nghiệm đã được triển khai từ trước. Với độ tin cậy đạt được, ứng dụng của quá trình mô phỏng số sẽ cung cấp đến người khai thác tài liệu tham khảo có giá trị về đặc tính của chân vịt cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9 trong việc phân tích lựa chọn tỷ số truyền động phù hợp khi thay thế động cơ nổ bởi động cơ điện có dãy công suất tương đương của máy lắp ngoài bốn thì 9.9 hp đi kèm với cụm chân vịt Suzuki DF 9.9.*

Từ khóa: *Mô phỏng số, khảo sát ngược đặc tính thủy động học của chân vịt.*

Chỉ số phân loại: *2.1*

Abstract: *Nowadays, the use of ships and boats with small propeller clusters is becoming more and more popular. Based on the geometry of the propeller, follow the Suzuki DF 9.9 apart from previous studies, in this article, we will apply OpenFOAM, an open source software to carry out reverse engineering of the performance of the Suzuki DF 9.9's propeller. This is a 3-blade propeller with dimensions of 225×205 mm. Due to the popularity and widely used in today's industry, the k-epsilon model will be selected for use in our simulations. The simulation's results will be evaluated and compared with the experimental results that have been implemented before. So, the application of the numerical analysis of the Suzuki DF 9.9's performance could provide consumers with valuable reference in selecting the appropriate gear ratios when the an electric motor is used instead of the four stroke 9.9 hp outboard motor.*

Keywords: *Computational fluid dynamics, reverse engineering of propeller hydrodynamic.*

Classification number: *2.1*

1. Giới thiệu

Hiện nay, xu hướng của các nhà sản xuất động cơ lắp ngoài cho tàu thủy là thường sử dụng các mẫu chân vịt tự thiết kế và bán kèm với máy chính thành một cụm cho khách hàng. Hình thức này giúp người sử dụng thuận tiện hơn và đỡ mất thời gian để lựa chọn chân vịt phù hợp với cụm máy. Tuy nhiên, nó gây không ít khó khăn khi thay thế động cơ nổ bởi động cơ điện để sử dụng cho phương tiện thủy thân thiện môi trường như tàu năng lượng mặt trời…, bởi đặc tính của chân vịt đi theo cụm máy lắp ngoài thường không được nhà sản xuất cung cấp. Các kết quả trình bày trong bài viết này hướng đến ứng dụng công cụ mô phỏng số dựa trên mã nguồn mở OpenFOAM để khảo sát ngược đặc tính thủy động học của chân vịt đi theo cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9, từ đó đưa ra phương án lựa chọn tỉ số truyền động phù hợp khi thay thể động cơ nổ bởi động cơ điện kết có cùng dãy công suất mà vẫn sử dụng được chân vịt gốc và cụm ống bao truyền động của cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9.

Đặc trưng thủy động học của chân vịt tàu thủy là các đường đặc tính lực đẩy, đặc tính mô men xoắn, đặc tính hiệu suất theo tỉ số tiến của nó. Và do đó, khi áp dụng các công cụ mô phỏng số cho mục đích khảo sát đặc tính thủy động học của chân vịt, các thiết

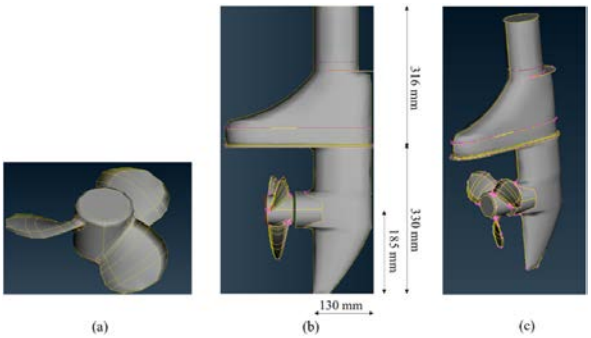
lập đưa ra thường là trường dòng ổn định (steady state) và bỏ qua ảnh hưởng của hiện tượng xâm thực (non-cavitation). Phương pháp mô phỏng dựa trên những giả thiết trên thường được gọi là RANS. Trong RANS, có rất nhiều mô hình rối thường được sử dụng trong mô phỏng đặc tính của chân vịt, phổ biến trong số đó là mô hình rối k-ε, mô hình rối k-ω và mô hình rối k-ω SST. Trong các nghiên cứu được công bố bởi Chang [1] và Sanchez-Caja [2], mô hình rối k-ε được sử dụng để mô phỏng số đặc tính của mẫu chân vịt P4119; nghiên cứu được công bố bởi Guilmineau [3], mô hình rối k-ω SST (một biến thể của mô hình k-ω) được lựa chọn cho các nghiên cứu chuyên sâu vết hậu lưu phía sau chân vịt. Các nghiên cứu này đều có liên quan và cho ra kết quả phù hợp.

Như vậy, mục tiêu chính trong bài báo này đó là thông qua việc đánh giá độ tin cậy của quá trình mô phỏng tính toán số đặc tính thủy động của chân vịt, nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành lựa chọn tỷ số truyền phù hợp để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của chân vịt và động cơ điện.

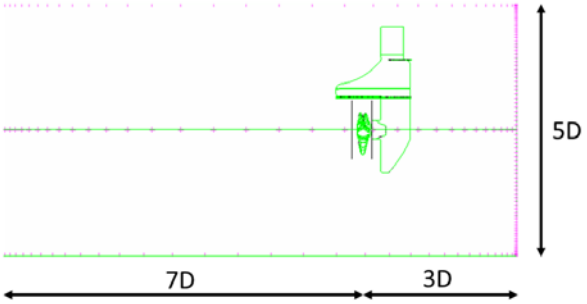
2. Xây dựng mô hình mô phỏng số đặc tính thủy động học của cụm chân vịt lắp ngoài Suzuki DF 9.9 HP

Biên dạng của chân vịt đi theo cụm máy Suzuki DF 9.9 đã được khảo sát và dựng hình học 3D bằng phương pháp quét biên dạng không tiếp xúc (hình 1.a) [4]. Chân vịt khảo sát có đặc trưng về hình học như sau: Đường kính (D) là 225 mm; số lá cánh (Z) là 3; tỉ số P/D đặc trưng là tại 0.7R là 0.9; bước hình học trung bình (P_{mean}) là 205 mm; tỉ số A_E/A_0 là 0.45. Ngoài ra, ống bao động cơ sẽ được tích hợp trong mô hình tính toán để tăng tính thực tế cho bài toán (hình 1.b, c).

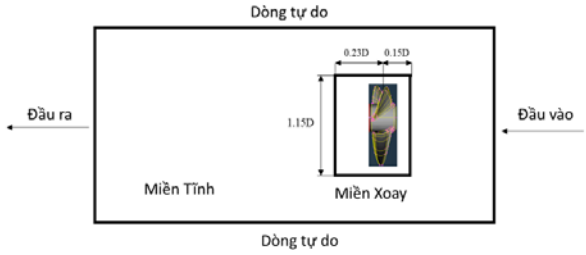
Hình 2 và hình 3 thể hiện kích thước miền lưới được xây dựng dựa theo các nghiên cứu trước đây [5]. Với kích thước miền lưới như vậy, bài toán mô phỏng sẽ hạn chế được các ảnh hưởng của biên cũng như tiết kiệm được tối đa thời gian tính toán.



Hình 1. *Hình học của chân vịt và ống bao động cơ.*

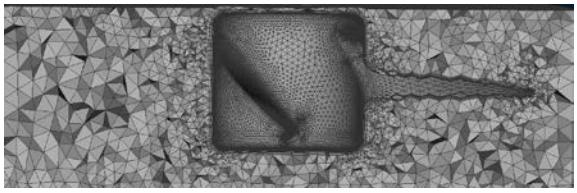


Hình 2. *Kích thước miền lưới.*



Hình 3. *Kích thước của miền quay và các biên của miền mô phỏng.*

Ở vùng gần tường (hình 4), số lượng lớp biên ít hay nhiều sẽ tùy thuộc vào giá trị Y+ lựa chọn. Về cơ bản, số lượng lớp biên càng nhiều thì độ chính xác sẽ càng tăng và ngược lại. Vấn đề này sẽ được đánh giá ở phần sau.

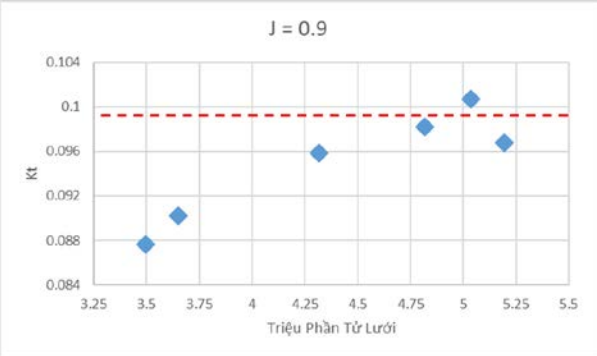


Hình 4. *Lưới tetra, chia không cấu trúc cho miền xoay.*

Ở các mô hình thực nghiệm đánh giá đặc tính hoạt động của chân vịt chuẩn Wageningen B-series trước đây, hầu hết kết quả thực nghiệm đều được tiến hành với chân vịt thu nhỏ có đường kính 240 mm, ở số vòng quay của chân vịt là 330 vòng/phút ứng với số Reynold đặc trưng là 2.1×10^5 [7]. Để

có thêm kết quả tham khảo từ các kết quả của các loại chân vịt chuẩn Wageningen B-series, cụm chân vịt lắp ngoài máy Suzuki DF 9.9 sẽ thực hiện mô phỏng số đặc tính hoạt động với mô hình rối k-ε ở tốc độ vòng quay là 330 vòng/phút (tương ứng với số Reynolds là 2.3×10^5).

Hình 5 biểu thị các giá trị kết quả mô phỏng số thu được cho hệ số lực đẩy (K_T) của cụm chân vịt lắp ngoài máy Suzuki DF 9.9 tại hệ số tiến (J) là 0.9 với các mô hình lưới có số phần tử lưới tăng dần. Có thể dễ dàng nhận thấy rằng, số phần tử lưới càng tăng lên thì giá trị K_T tại J là 0.9 có xu hướng xác lập về một giá trị xác định. Trong bài toán mô phỏng này, Y+ là 30 được chọn (tương ứng với cấu trúc miền lưới khoảng 4.8 triệu phần tử). Theo đó, các kết quả mô phỏng số đặc tính của chân vịt đi kèm với cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9 với Y+ là 30 sẽ được trình bày ở các phần tiếp theo.

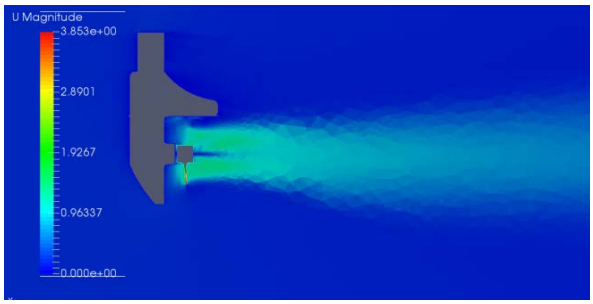


Hình 5. *Đánh giá độ hội tụ lưới lên kết quả mô phỏng số của hệ số lực đẩy tại J là 0.9.*

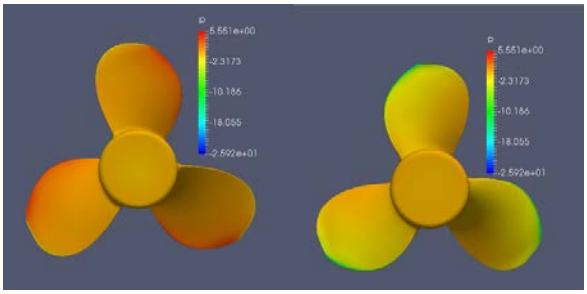
3. Đánh giá kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng số trường dòng qua cụm chân vịt máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9 tại hệ số tiến (J) là 0.1 được thể hiện ở hình 6. Phân bố vận tốc giảm dần từ chân vịt chạy dài về phía cuối miền tính toán và tiến về giá trị vận tốc trường dòng ở J là 0.1. Đó cũng có nghĩa là năng lượng được tạo ra bởi chân vịt đã bị phân tán hoàn toàn ở phía xa đằng sau.

Hình 7 thể hiện phân bố áp suất trên mặt đẩy và mặt hút của chân vịt. Ở mặt hút nước, áp suất tăng dần từ mũi cánh ra đuôi cánh và ngược lại ở mặt đẩy nước. Thêm vào đó, áp suất ở mặt đẩy lớn hơn mặt hút, điều đó tạo ra lực đẩy ngược chiều với vận tốc đầu vào. Các điều trên chứng tỏ quá trình mô phỏng số đã mô tả chính xác hiện tượng vật lý của chân vịt khi hoạt động dưới nước.



Hình 6. *Phân bố vận tốc trên toàn miền mô phỏng.*

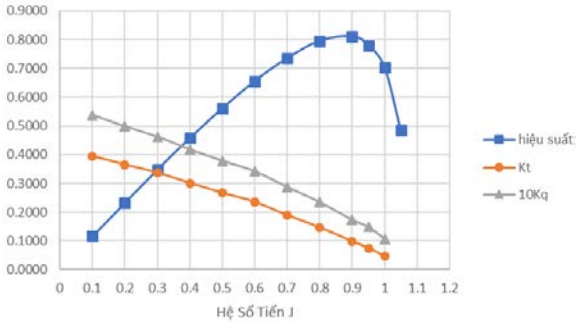


Hình 7. *Phân bố áp suất mặt đẩy (trái), mặt hút (phải).*

Ngoài ra, với hệ số P/D là 0.9 và hệ số A_E/A_0 là 0.45, khi tham khảo các đặc tính của chân vịt tàu thủy theo chuẩn Wageningen B-series [8], hệ số lực đẩy tĩnh (K_{To}) của chân vịt B-series có cùng P/D và A_E/A_0 nằm trong khoảng 0.40.

Hình 8 là biểu đồ thể hiện kết quả mô phỏng số đặc tính thủy động học của chân vịt 225×205 mm, ba lá cánh, đi kèm với cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9. Hiệu suất của cụm chân vịt đạt giá trị cực đại tại vị trí J trong vùng 0.9 là 0.80 tương ứng với dòng có vận tốc là 24 km/h với tốc độ vòng quay 2000 vòng/phút, lực đẩy tạo ra bởi chân vịt là 29 kg.f, và công suất yêu cầu là 3 hp. Ngoài ra, với các kết quả của K_T ứng với các hệ số tiến J khác nhau, có thể ngoại suy giá trị K_{To} ứng với điều kiện không có dòng đến chân vịt (J bằng zero), theo đó giá trị hệ số lực đẩy tĩnh (K_{To}) của cụm chân vịt thu được từ kết quả mô phỏng số là 0.4167 (xem hình 8), giá trị này nằm trong dãy giá trị K_{To} (0.39÷0.42) ghi nhận bởi khảo sát thực nghiệm nằm trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Sở

Khoa học công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh do TS. Lê Tất Hiển làm chủ nhiệm [9].

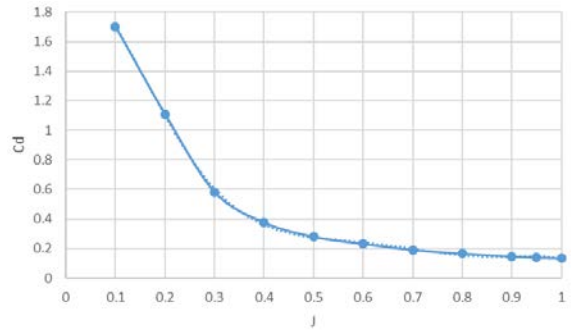


Hình 8. *Đặc tính hoạt động của chân vịt 225×205 mm đi kèm cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9*

Thêm vào đó, khi mô phỏng tính toán chân vịt kết hợp với ống bao động cơ, lực đẩy thực tế của chân vịt sẽ bị giảm đi do ảnh hưởng của lực cản tạo ra bởi ống bao ($D_{ống_bao}$). Hệ số lực cản của ống bao động cơ (C_d) sẽ thay đổi theo vận tốc của dòng đi ra ứng với tỉ số tiến (J) khác nhau (xem hình 9). Hệ số lực cản của ống bao có xu hướng xác lập khi J đạt giá trị từ 0.5 trở lên (giá trị hệ số lực cản xác lập trong khoảng 0.13 với C_d là hệ số lực cản của ống bao động cơ, được tính bởi biểu thức sau:

$$C_d = D_{ống_bao}/(0.5\times\rho_{nước}\times V^2\times S_{wet})$$

Với S_{wet} là diện tích phần ống bao trong nước). Điều này là phù hợp với thiết kế khí động học của ống bao, nhờ đó giúp giảm đáng kể lực cản do ống bao gây ra cho cụm chân vịt lắp ngoài khi hoạt động trong dãy vận tốc thiết kế của nó.



Hình 9. *Đặc tính cản tạo ra bởi ống bao động cơ.*

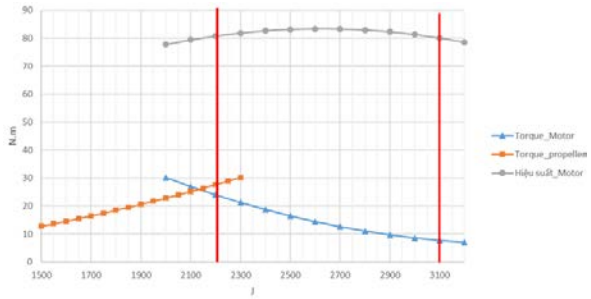
Sau khi đối chiếu các đặc tính vật lý và kết quả mô phỏng với giá trị thực nghiệm, mô hình mô phỏng số khảo sát ngược đặc tính hoạt động của cụm chân vịt lắp ngoài máy Suzuki DF 9.9 trình bày trong bài viết này đã đáp ứng được yêu cầu về độ tin cậy, cũng như phản ánh được bản chất hoạt động của cụm chân vịt khảo sát.

4. Áp dụng kết quả mô phỏng số cho giải pháp sử dụng động cơ điện thay cho động cơ nổ của cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9 HP

Hình 10 biểu thị giá trị mô men xoắn của động cơ điện K91-4003 của hãng Advanced D.C. Motors [10] và chân vịt tạo ra ở các vòng quay khác nhau. Ngoài ra, hình 10 còn thể hiện vùng hiệu suất cao của động cơ điện nằm trong dải vòng quay từ 2000 vòng/phút tới 3200 vòng/phút. Để lựa chọn được tỷ số truyền phù hợp cho việc hoán cải động cơ, dải vòng quay của động cơ điện trong vùng hiệu suất cao của nó sẽ được lựa chọn để đảm bảo hiệu suất làm việc của toàn cụm là tốt nhất. Từ đó, ứng với một giá trị mô men xoắn nhất định, ta sẽ lựa chọn ra được số vòng quay tương ứng của động cơ điện và chân vịt sao cho mô men xoắn tạo ra của động cơ điện luôn lớn hơn moment xoắn cần thiết cho chân vịt. Sau khi có các giá trị vòng quay tương ứng, ta sẽ tìm ra được dải tỷ số truyền phù hợp tương ứng với số vòng quay mong muốn của động cơ điện (xem bảng 1). Tùy theo mục đích sử dụng và thiết kế, tỉ số truyền phù hợp sẽ được người kĩ sư lựa chọn sao cho chân vịt sẽ có mô men xoắn đủ lớn tạo ra lực đẩy phù hợp với điều kiện ban đầu đặt ra trong thiết kế. Như vậy, để có thể hoán cải động cơ nổ bốn thì Suzuki DF 9.9 hp nguyên bản của nhà sản xuất sang động cơ điện K91-4003 của hãng Advanced D.C Motors [10], người dùng có thể lựa chọn phương án truyền động trực tiếp với động cơ điện hoặc lắp đặt hộp tăng tốc cho chân vịt với tỉ số truyền phù hợp trong vùng từ 100:93 đến 100:87 để có thể tận dụng được tối đa moment xoắn của động cơ điện cho hoạt động của chân vịt mà vẫn đảm bảo hiệu suất hoạt động của động cơ điện trong vùng hiệu suất cao của nó (hiện tại cụm chân vịt lắp ngoài Suzuki DF 9.9 sử dụng hộp giảm tốc với tỉ số truyền là 12:25).

Bảng 1. *Dãy tỉ số truyền phù hợp.*

Tốc độ vòng quay muốn của motor (vòng/phút)	2200	2150	2100	2000
Dãy tỉ số truyền phù hợp	93:100	1:1	100:93	100:87



Hình 10. *Moment xoắn tạo ra bởi chân vịt và động cơ điện.*

5. Kết luận

Việc áp dụng phương pháp khảo sát ngược đặc tính hoạt động của chân vịt đi kèm với cụm máy lắp ngoài dựa nền tảng mã nguồn mở OpenFOAM, bài viết đã đưa ra được một mô hình mô phỏng số đặc tính hoạt động của chân vịt 225×205 mm, ba lá cánh đi kèm với cụm máy lắp ngoài Suzuki DF 9.9. Mô hình lưới, mô hình rối k-ε và giá trị Y+ được đưa ra trong bài viết hoàn toàn có thể áp dụng trong việc khảo sát ngược đặc tính của các mẫu chân vịt đi kèm theo cụm máy lắp ngoài khác. Các kết quả thu được của cụm chân vịt lắp ngoài Suzuki DF 9.9 có giá trị tham khảo cao cho việc lựa chọn tỉ số truyền động phù hợp khi hoán cải động cơ nổ nguyên bản bởi đông cơ điện cho các phương tiện thủy dùng năng lượng điện❑

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin gửi lời cám ơn chân thành đến Phòng Thí nghiệm Tính toán Hiệu năng cao, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã cung cấp cho nhóm nghiên cứu tài nguyên máy tính để thực hiện bài viết này. Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2017-20-01.

Tài liệu tham khảo

[1] Chang B., *Application of CFD to P4119 propeller*, 22nd ITTC Propeller RANS/Panel Method Workshop, France, 1998.

[2] Sanchez-Caja, *A P4119 RANS calculations at VTT*, 22nd ITTC Propeller RANS/Panel Method Workshop, France, 1998.

[3] E. Guilmineau, G.B. Deng, A. Leroyer, P. Queutey, M. Visonneau and J. Wackers, *Wake simulation of a marine propeller*, 11th World Congress on Computational Mechanics, 2014.

[4] Ngô Khánh Hiếu, Lê Tất Hiển, *đặc trưng hình học và đặc tính thủy động lực chân vịt phương tiện thủy nội địa cỡ nhỏ*, Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ tập 18, 2015, trang 110-116.

[5] Bùi Khắc Huy, Phan Quốc Thiện, Ngô Khánh Hiếu, *Phương Pháp Chia Lưới Tự Động Cho Bài Toán Mô Phỏng Chân Vịt Tàu Thủy*, Tạp chí khoa học công nghệ giao thông vận tải số 18, 02/2016, trang 27 -31.

[6] Service manual Suzuki outboard motor 9.9/15 hp for 2005 model.

[7] Allan B.Murray, B.V.Korin-Kroukovsky, Edward V.Lewis, *Self – Propulsion Tests with Small Models*, In The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Washington D.C, 1951.

[8] M.M.Bernitsas, D.Ray, P.Kinlet, *Kt - Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*, Technical Report, Naval Architecture & Marine Engineering (NA&ME), 1981

[9] Ngô Khánh Hiếu, *Nghiên cứu hệ thống thực nghiệm đo lực đẩy của chân vịt*, Báo cáo chuyên đề của đề tài NCKH cấp Sở KHCN Tp. HCM năm 2014 về "Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo tàu khách đường sông dưới 20 chỗ ngồi sử dụng công nghệ Hybrid với năng lượng mặt trời" do TS. Lê Tất Hiển làm chủ nhiệm, 2017.

[10] Thông số kỹ thuật của động cơ điện DC, K91-4003, http://www.evmotors.com.au/products/download/K91-4003.pd.

Ngày nhận bài: 19/12/2017
Ngày chuyển phản biện: 22/12/2017
Ngày hoàn thành sửa bài: 12/1/2018
Ngày chấp nhận đăng: 19/1/2018