

Nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng CFD trong khai thác tàu thủy nhằm giảm tiêu hao nhiên liệu

- Lê Quang
- Phạm Thị Thanh Hương
- Ngô Văn Hệ

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

(Bài nhận ngày 13 tháng 7 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 10 năm 2015)

ABSTRACT

Bài báo trình bày phương pháp giảm mức tiêu hao nhiên liệu trong khai thác tàu thông qua việc giảm lực cản tàu thủy.

Lực cản tàu chủ yếu do nước và không khí gây ra. Để giảm lực cản do nước sinh ra, tác giả đề xuất phương án phun khí tạo bọt vào lớp biên sát đáy tàu thông qua phương pháp thực nghiệm. Để giảm lực cản do

không khí sinh ra, tác giả đề xuất phương thức sắp xếp hàng trên tàu thông qua phương pháp CFD (Computation Fluid Dynamic).

Trong quá trình khai thác, tàu chở hàng sử dụng các phương pháp trên có thể tiết kiệm được 5-8% mức tiêu hao nhiên liệu.

Từ khóa: giảm tiêu hao nhiên liệu, giảm lực cản, phương pháp phun bọt khí giảm lực cản tàu thủy, CFD, giảm lực cản gió.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để giảm mức tiêu hao nhiên liệu trong quá trình khai thác các phương tiện giao thông vận tải, hướng nghiên cứu giảm lực cản là vô cùng quan trọng. Trong quá trình vận hành máy bay, ô tô, tàu hỏa..., lực cản chủ yếu gây ra trong môi trường không khí. Song, lực cản của các phương tiện vận tải biển còn gây ra trong môi trường nước.

Lực cản tàu chủ yếu là lực cản của nước và lực cản không khí, trong đó lực cản do nước sinh ra có thể phân tích thành lực cản nhớt (gồm lực cản ma sát, lực cản hình dáng) và lực cản sóng. Nhiều công trình khoa học [9, 10, 11] đã tập trung vào thiết kế hình dáng tàu, thuyền sao cho giảm lực cản hình dáng, lực cản cảm ứng hay lực

cản sóng. Hình dáng mũi qua lê, cánh mũi hay góc mạn làm giảm đáng kể lực cản sóng [1]. Phương án tối ưu về tỷ lệ giữa chiều dài, chiều rộng, hệ số béo, hình dáng đuôi, dạng sườn... cũng được nghiên cứu nhằm giảm lực cản ứng với vận tốc khai thác tàu.

Trong bài báo này, nhóm tác giả giới thiệu một phương án giảm đáng kể lực cản nhớt thông qua việc can thiệp trực tiếp lớp biên sát đáy tàu bằng cách phun khí tạo bọt. Kết quả được minh chứng bằng các thực nghiệm trong bể thử mô hình tàu quốc gia thuộc Viện Khoa học Tàu thủy Việt Nam (cũ) tại Hà Nội năm 2014. Đồng thời bằng phương pháp tính toán động lực học chất lỏng CFD [2], nghiên cứu cũng kết luận rằng:

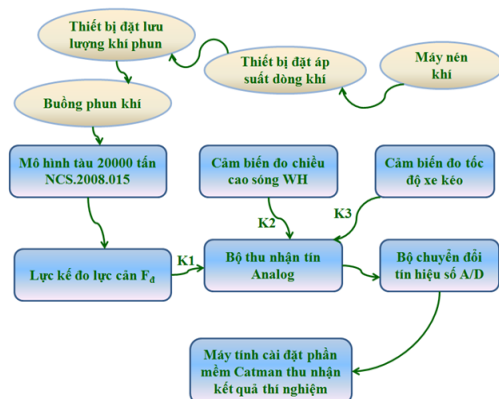
cách bố trí hàng và sắp xếp thiết bị trên boong có ảnh hưởng đáng kể tới hệ số cản của không khí. Có thể coi đây là một giải pháp giảm lực cản hiệu quả và kinh tế (ít can thiệp nhất đến kết cấu của tàu thuyền). Các công ty vận tải biển có thể thực hiện ứng dụng trong quá trình khai thác tàu, thuyền.

2. GIẢM LỰC CẢN NHỚT CỦA TÀU BẰNG PHUN KHÍ TẠO BỌT

Khi tàu, thuyền chuyển động, lực cản nhớt chiếm khoảng 80% lực cản tàu. Vì vậy, việc giảm lực cản nhớt có vai trò quan trọng. Tạo một lớp không khí chảy sát bề mặt tàu thay vì tiếp xúc trực tiếp giữa bề mặt tàu với nước, ta có thể ước tính được lực cản ma sát dựa vào các tính chất vật lý của nước, của không khí (như khối lượng riêng, hệ số nhớt...). Tuy nhiên trong thực tế, không đơn giản như vậy, vì phát sinh nhiều yếu tố ảnh hưởng như: năng lượng tiêu thụ, nồng độ khí, kích thước bọt, vị trí phun, khả năng ngăn chặn xâm thực chân vịt,... [7, 8]. Nhóm tác giả đã thực nghiệm với những vị trí phun khác nhau, khảo sát ảnh hưởng của đường kính phun với các dải vận tốc khác nhau của mô hình tàu, từ đó tìm ra vị trí phun, đường kính, và nồng độ khí ứng với mỗi vận tốc cho phép của tàu.

2.1. Thực nghiệm phun bọt khí đẩy tàu và đo lực cản tàu

Quá trình thực nghiệm phun bọt khí và đo lực cản được thực hiện theo các bước trên sơ đồ Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thử nghiệm mô hình tàu

Mô hình tàu thử nghiệm: Mô hình tàu thực nghiệm là mô hình tàu hàng 20.000 tấn, tỷ lệ 1/33, vật liệu gỗ. Các thông số cơ bản của tàu được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số cơ bản của tàu thực

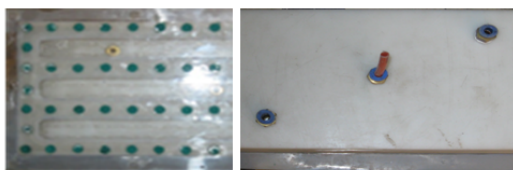
Thông số cơ bản	Ký hiệu	Trị số	Đơn vị
Chiều dài lớn nhất	L_{Max}	165.45	m
Chiều dài giữa hai đường vuông góc	L_{pp}	156	m
Chiều rộng	B	25	m
Chiều cao mạn	H	12	m
Chiều chìm	T	7.6	m
Trọng tải	P	20.000	tấn
Vận tốc	V	14	hải/ giờ
Hệ số béo thể tích	C_b	0.848	
Hệ số béo mặt cắt ngang sườn giữa	C_M	0.998	
Hệ số béo đường nước	C_{wp}	0.913	



Hình 2. Mô hình tàu thử nghiệm

Hệ thống thiết bị phun khí: Thử nghiệm được tiến hành với 2 kiểu buồng phun khí với các

lỗ có đường kính có thể thay đổi. Kiểu buồng phun khí vật liệu gỗ, đáy phun bằng mica và kiểu buồng phun khí vật liệu composite (phay nguyên tấm composite), Hình 3. Các buồng khí đều được nối với ống dẫn khí từ máy sinh khí.



Hình 3. Đáy buồng phun khí và đầu vào buồng phun khí, vật liệu composite



Hình 4. Áp kế và lưu lượng kế đo thông số dòng khí

Để phục vụ thực nghiệm, các buồng tạo khí được lắp đặt ở đáy tàu, vị trí tương ứng tại sườn 7.5 cách mũi 0.5m, khoảng 25% chiều dài mô hình tàu tính từ mũi về lái, khoảng cách này có thể thay đổi cho mỗi lần thử nghiệm, Hình 5.



Hình 5. Bố trí buồng phun khí tại đáy tàu mô hình

2.2. Kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành tại bể thử mô hình Viện Khoa học Công nghệ Tàu thủy Vinashin. Thực nghiệm được tiến hành với hai

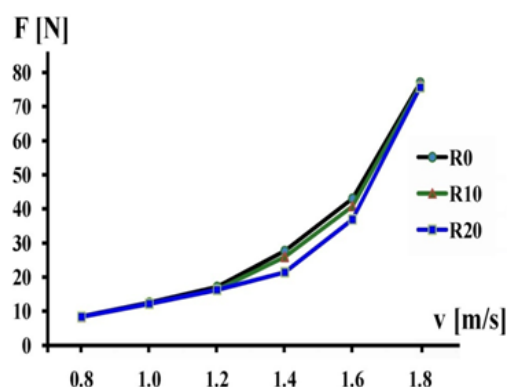
mô hình tàu, không bố trí buồng phun khí và có bố trí buồng phun khí tại đáy tàu. Trong hai trường hợp, tàu trên nước tĩnh và tàu trên dòng sóng điều hòa.

Thực nghiệm mô hình tàu trên nước tĩnh:

Thực nghiệm được tiến hành trong các trường hợp vận tốc thay đổi từ 0.8m/s đến 1.8m/s ứng với vận tốc khai thác trên tàu thực. Lưu lượng phun khí thực nghiệm 10 lít/phút và 20 lít/phút. Kết quả thực nghiệm được thể hiện trên Hình 7.



Hình 6. Hình ảnh sóng mũi khi tàu trên nước tĩnh



Hình 7. Lực cản toàn phần tác động lên tàu trên nước tĩnh $F(N)$ theo vận tốc tàu

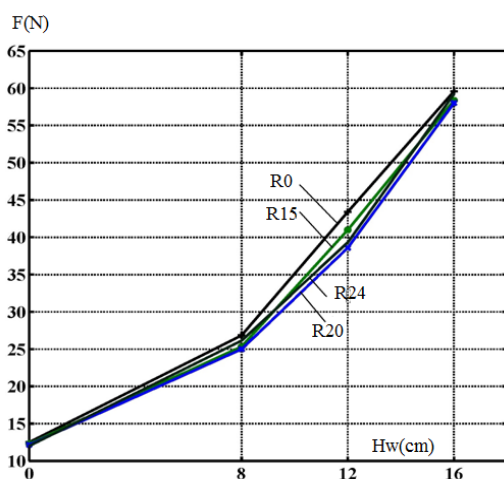
Các kí hiệu R0, R10, R20 trong Hình 7, tương ứng là lực cản toàn phần tương ứng với trường hợp không phun khí, phun khí với lưu lượng 10 lít/phút và 20 lít/phút. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, dòng khí phun có ảnh hưởng trực tiếp tới giảm lực cản tàu mô hình trong một khoảng vận tốc khai thác nhất định: từ 1.2m/s đến 1.6m/s. Lực cản giảm lớn nhất 22.5% khi mô

hình được kéo ở tốc độ 1.4m/s với lưu lượng dòng khí là 20 lít/phút.

Thực nghiệm mô hình tàu trên sóng: Thực nghiệm được tiến hành với sóng điều hòa hình sin có biên độ sóng tới $H_w/2$ tương ứng là: 2cm, 4cm, 8cm, 12 cm, 16cm ứng với vận tốc 1.0m/s, trong trường hợp không phun khí và trường hợp phun khí với lưu lượng khác nhau 15 lít/phút, 20 lít/phút và 24 lít/phút. Hình ảnh và kết quả thực nghiệm được thể hiện trên Hình 8, 9.



Hình 8. Thử nghiệm tàu trên sóng điều hòa

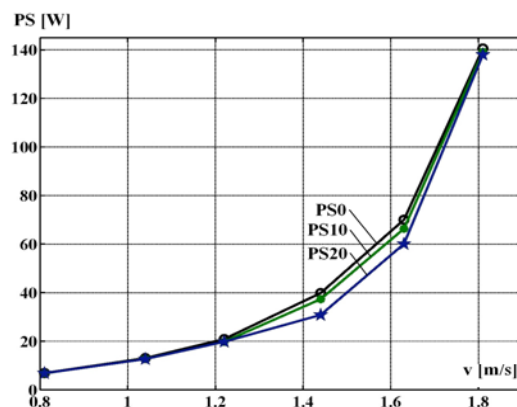


Hình 9. Lực cản toàn phần của tàu mô hình thử nghiệm theo chiều cao sóng, H_w

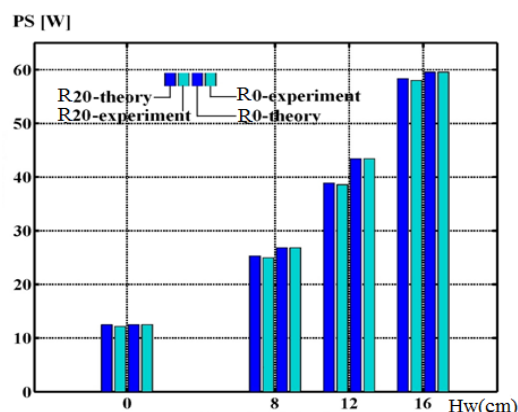
Kết quả thực nghiệm thể hiện trên Hình 9 biểu diễn lực cản toàn phần tác động lên tàu trong các trường hợp thử nghiệm khi có sóng với các trường hợp không phun khí và phun khí tại đáy tàu với các lưu lượng khí phun thay đổi.

Kết quả thử nghiệm trên Hình 9 cho thấy, lực cản của tàu mô hình thử nghiệm chuyển động trên sóng giảm lớn nhất 15.3% ở biên độ sóng 12 cm và lưu lượng khí 20 lít/phút.

Công suất kéo của tàu mô hình thử nghiệm: Công suất kéo của tàu mô hình P_s khi không phun và khi phun khí với lưu lượng 20lít/phút trong hai trường hợp tàu chuyển động trên nước tĩnh và chuyển động trên sóng điều hòa hình sin được biểu diễn trên Hình 10, 11.



Hình 10. Công suất kéo tàu mô hình thử nghiệm trên nước tĩnh theo vận tốc



Hình 11. Công suất kéo tàu mô hình thử nghiệm trên sóng điều hòa theo chiều cao sóng, H_w

2.3. Nhận xét

Phương pháp phun khí vào lớp biên sát đáy tàu có ảnh hưởng đến việc làm giảm lực cản tàu, giảm công suất tiêu hao nhiên liệu cho tàu. Đối với thử nghiệm mô hình tàu trên nước tĩnh, hiệu

quả giảm lực cản mô hình tàu lớn nhất tới 22.5% ứng với trường hợp kéo tàu mô hình với tốc độ 1.4 m/s và lưu lượng dòng khí tạo bọt 20 lít/phút; công suất tiêu hao giảm 15.3%. Đối với thử nghiệm mô hình tàu trên sóng hình sin, hiệu quả giảm lực cản mô hình tàu lớn nhất 10.3%, ứng với mức giảm công suất tiêu hao kéo tàu 8.6% ứng với vận tốc kéo $v = 1$ m/s, biên độ sóng 12 cm, lưu lượng dòng khí $Q = 20$ lít/phút.

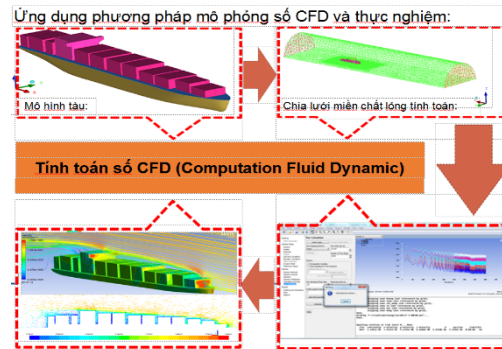
Thử nghiệm chưa thể hiện rõ cơ chế giảm ma sát bề mặt, song có thể cho rằng: sự tăng độ nhớt do bóng khí gây ra dẫn đến sự giảm trường vận tốc. Sự ảnh hưởng của bọt khí tới giảm lực cản là đáng kể, đặc biệt là khi thử nghiệm với số Reynold thấp. Kích thước bóng khí được quyết định bởi tốc độ dòng chảy và tốc độ luồng khí, là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến lực cản tàu.

3. GIẢM LỰC CẢN GIÓ CHO TÀU THÔNG QUA VIỆC XẾP HÀNG TRÊN BOONG

Trong quá trình khai thác tàu, việc bố trí và sắp xếp hàng trên boong có ảnh hưởng rất lớn tới lực cản gió tác động lên tàu. Nghiên cứu này thể hiện các kết quả mô phỏng, tính toán lực cản gió tác động lên phần nổi của tàu với các phương án bố trí hàng container trên boong tàu khác nhau. So sánh lực cản trong các trường hợp đó, quyết định cách thức sắp xếp tối ưu nhằm giảm năng lượng tiêu hao trong quá trình khai thác tàu.

3.1. Quá trình thực hiện mô phỏng số các yếu tố khí động lực học của tàu

Trong quá trình tính toán mô phỏng số CFD, mô hình tính toán cần phải được thiết kế tối ưu nhất. Quá trình thực hiện gồm các bước như sau: thiết kế mô hình vật thể cần mô phỏng số, thiết kế miền không gian tính toán, chia lưới và đặt các điều kiện biên cho bài toán. Tất cả các bước đều ảnh hưởng đến kết quả tính toán mô phỏng. Hình 12 thể hiện sơ đồ quá trình mô phỏng số các thuộc tính khí động lực học thân tàu thông qua sử dụng CFD.



Hình 12. Sơ đồ tính mô phỏng số CFD các đặc tính khí động lực học thân tàu

Trong nghiên cứu này, miền không gian tính toán, chia lưới và đặt các điều kiện biên được thực hiện theo các tài liệu được xuất bản bởi tổ chức hàng hải thế giới ITTC 2011 (International Towing Tank Conference) và dựa trên kinh nghiệm nghiên cứu của tác giả [12, 13, 14]. Miền không gian tính toán được giới hạn bởi 15m dài; rộng 3.8m; cao 3.8m, với chiều dài mô hình tàu sử dụng trong tính toán là 1.68m. Chia lưới cho miền không gian tính toán được 3.6 triệu lưới tứ diện không cấu trúc. Mô hình rối k-epsilon cho dòng không dừng được lựa chọn. Vận tốc vào đặt 14.5m/s, áp suất ra được đặt cho đầu ra.

3.2. Một số phương án xếp hàng container trên boong tàu

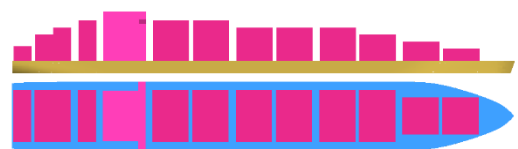
Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đưa ra một số phương án xếp hàng container trên boong tàu để tính toán mô phỏng số. Trên cơ sở phân tích so sánh kết quả mô phỏng các phương án xếp hàng trên boong tàu, tác giả tiến hành đánh giá ảnh hưởng của việc sắp xếp hàng trên boong tàu container. Hình 13, 14 và 15 thể hiện các mô hình tàu với phương án xếp container tương ứng trên mặt boong. Các mô hình tàu này được đưa vào tính toán mô phỏng số CFD.



Hình 13. Mô hình tàu container với phương án xếp hàng số 1; N1



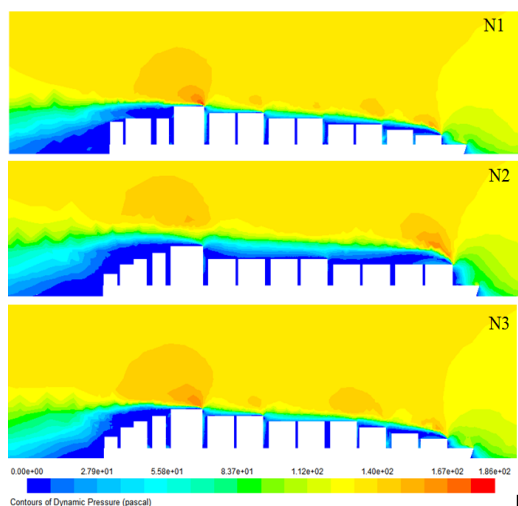
Hình 14. Mô hình tàu container với phương án xếp hàng số 2; N2



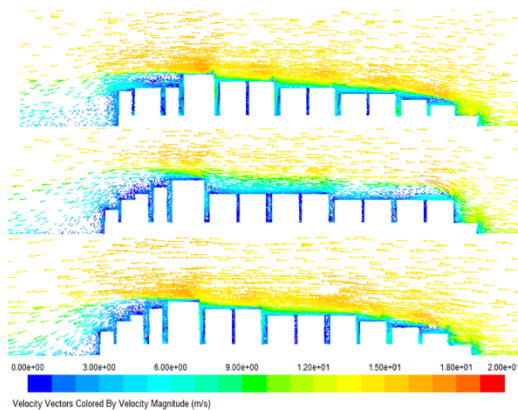
Hình 15. Mô hình tàu container với phương án xếp hàng số 3; N3

3.3. Kết quả phân bố áp suất và vận tốc dòng bao quanh thân tàu

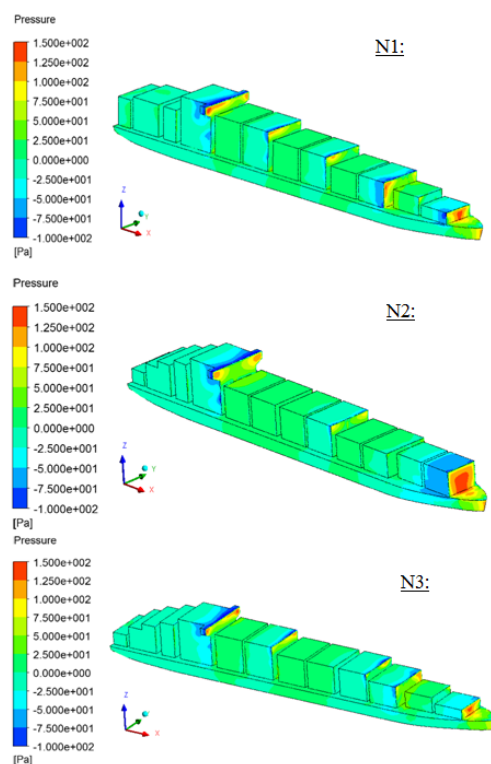
Trong phần này, các kết quả mô phỏng số phân bố áp suất và vận tốc dòng bao quanh tàu được đưa ra và so sánh giữa các mô hình tàu với các phương án xếp hàng tương ứng. Hình 16, 17 thể hiện so sánh phân bố áp suất và phân bố vận tốc dòng xung quanh tàu của các mẫu, Hình 18 so sánh phân bố áp suất trên toàn bộ bề mặt thân tàu. Dựa trên sự so sánh kết quả giữa các mô hình với nhau cho thấy rằng phân bố áp suất và vận tốc dòng khí xung quanh tàu có sự khác biệt tương đối. Sự khác biệt này có thể sẽ làm thay đổi lực khí động tác động lên tàu.



Hình 16. Phân bố áp suất động xung quanh tàu trong miền tính toán



Hình 17. Phân bố vận tốc dòng bao quanh tàu trong miền tính toán



Hình 18. So sánh phân bố áp suất trên bề mặt thân tàu, N1; N2; N3

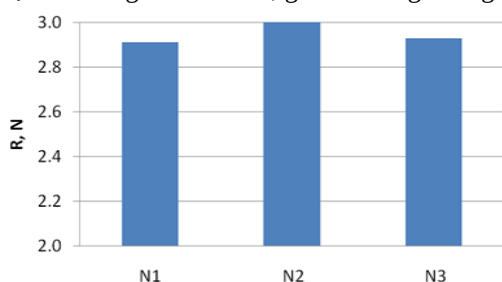
3.4. Kết quả tính mô phỏng lực cản gió

Lực cản gió tác động lên tàu phụ thuộc vào các thông số như loại chất khí, góc tấn, hình dáng thượng tầng lầu và diện tích mặt hứng gió S_{FPA}. Trong tính toán lực cản gió tác động lên tàu theo lý thuyết được thực hiện theo công thức (1).

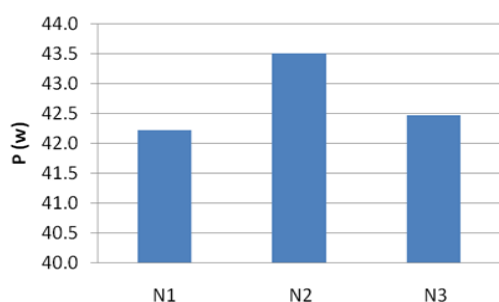
$$R=0.5\rho C_f V^2 S_{FPA} \quad (1)$$

Trong đó ρ là khối lượng riêng của chất khí; C_f là hệ số lực được xác định theo thực nghiệm; V là vận tốc dòng khí.

Trong bài toán mô phỏng số, lực cản gió tác động lên tàu còn được tính dựa trên nhiều yếu tố ảnh hưởng tương tác phức tạp như sự biến đổi dòng khí bao quanh thân tàu, phân bố áp suất, sự chênh lệch áp suất giữa các vùng... Hình 19, 20 thể hiện đồ thị lực cản gió tác động lên 3 mô hình tàu và đồ thị công suất đẩy của tàu tương ứng với lực cản gió trong cùng điều kiện tính mô phỏng, vận tốc dòng khí 14.5m/s, góc tấn bằng không.



Hình 19. Lực cản gió tác động lên các mô hình tàu



Hình 20. Công suất đẩy tàu tương ứng với phần lực cản gió của các mô hình tàu

Kết quả cho thấy phương án xếp hàng ảnh hưởng đến lượng tiêu hao công suất. Phương án N1 có lực cản gió tác động lên tàu nhỏ nhất, tương ứng công suất đẩy tàu nhỏ nhất. Thông qua các kết quả mô phỏng số CFD, việc phân tích và tối ưu hóa các phương án xếp hàng container cho tàu có thể được thực hiện dễ dàng.

3.5. Nhận xét

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã sơ bộ nghiên cứu các đặc tính khí động dòng bao quanh thân tàu thông qua tính toán mô phỏng số CFD. Các kết quả mô phỏng như phân bố áp suất, vận tốc dòng bao quanh thân tàu, lực khí động tác dụng lên tàu có thể giúp hiểu rõ nguyên nhân làm tăng hay giảm lực cản tác động lên tàu, đây là cơ sở để tối ưu hình dáng cho tàu nhằm giảm tiêu hao công suất chạy tàu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu giảm tiêu hao nhiên liệu cho tàu thông qua thực nghiệm và ứng dụng CFD, làm giảm lực cản ma sát và lực cản không khí - gió tác động lên tàu.

Thực nghiệm phun khí điều khiển lớp biên sát đáy tàu cho thấy ưu điểm và khả năng giảm tiêu hao nhiên liệu rõ ràng. Lực cản có thể giảm tới 22.5% với mô hình, mang lại hiệu quả đáng kể trong việc giảm tiêu hao nhiên liệu cho tàu.

Thông qua mô phỏng số CFD, các bài toán thực tế được giải quyết, giải thích thỏa đáng các hiện tượng gây tăng hay giảm lực tác động lên tàu, đồng thời tính toán lực khí động tác dụng lên thân tàu, tối ưu phương án xếp hàng cho tàu container.

Experimental Study and Application of CFD During the Exploitation Process of Ship in Order to Minimizing the Fuel Consumption

- Le Quang
- Pham Thi Thanh huong
- Ngo Van He

Hanoi University of Science and Technology, HUST

ABSTRACT:

The article presents a method for minimizing energy exploitation of the ship through reducing ship resistances.

Ship resistances include water resistances caused by frictions of water and waves acting on hull part in the water and air resistance acting on the hull part above water surface. To reduce the resistance caused by water friction, the authors

proposed a method which intervene directly on the boundary layer of ship hull by the creating a gas injection foaming layer. To reduce air resistance, the authors used CFD method to optimize arrangement of container on deck for a container ship.

Obtained results showed that the proposed method help to save 5-8% of the consuming energy.

Keywords: Minimizing energy; reducing resistance; friction resistance; gas injection; air resistance; container arrangement; CFD.

REFERENCES

- [1]. P.T.T. Hương, L. Quang, N.V. He, *Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dáng mũi tàu đến lực cản thân tàu thủy bằng phương pháp số*. Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc, Tr. 243-250, 7/2009, Đà Nẵng.
- [2]. V.D. Quang, P.T.T. Hương, L.T. Tùng, *Lớp biên trên tấm phẳng với quy luật thổi bất kỳ*. Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc, Tr. 387-395, 7/2010, Quy nhơn.
- [3]. P.T.T. Hương, N.V. He, L. Quang, L.T. Tùng, V.D. Quang, *Using The Ansys Fluent Software to Calculate Drag force Acting on a Ship*. The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, pp. 565-569, 2/2011, Hanoi, Vietnam.
- [4]. V.D. Quang, P.T.T. Hương, L.T. Tùng, *Một số nghiên cứu trong lĩnh vực điều khiển lớp biên nhằm giảm lực cản của tàu*. Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc, Tr. 395-405, 7/2011, Cửa Lò.
- [5]. P.T.T. Hương, V.D. Quang, L. Quang, P.A. Tuan, *Reduction ship energy consumption by injection small bubbles*. The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on

- New and Renewable Energy, pp. 210-215, 10/ 2012, Vietnam.
- [6]. P.T.T. Hương, Nghiên cứu ảnh hưởng một số yếu tố thủy động lực học đến giảm lực cản của vật chuyển động trong chất lỏng, Luận văn Tiến Sĩ, 2012, ĐHBK HN.
- [7]. J. Tokunaga, T. Nobunaga, T. Nakatani, *Frictional Drag Reduction with Air Lubricant over Super Water Repellent Surface, 1st Report*. J.Soc. Naval Architects of Japan, Vol.183, pp 45-52, 1998.
- [8]. K. Fukuda, J. Tokunaga, T. Nobunaga et al., *Frictional Drag Reduction with Air Lubricant over Super-Water Repellent Surface, 2nd Report*. JASNAOE, Vol.186, 1999.
- [9]. Shipping World and World Shipbuiding, pp. 3367-3368, 1958.
- [10]. Modern Transopt, 2177, 1961
- [11]. Proceeding of the 3th Symposium of Naval Hydrodynamics, 1961.
- [12]. ITTC, CFD User's Guide, No. 7.5-03-01-03. 2009, 2011.
- [13]. <http://www.cfd-online.com, guidelines>
- [14]. N.V. He et al., *A Study on Interaction Effects between Hull and Accommodation on Air Resistance of a Ship*, Proceedings of the JASNAOE, Vol. 16, pp.278-281, 2013.