Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Engineering and Technology 2024, 6(SI2):17-22

Open Access Full Text Article

Bài nghiên cứu

Ước lượng lực dạt và mô men quay tác dụng lên tàu thuỷ chuyển động dạt ngang trong vùng nước nông

Nguyễn Tiến Thừa[1,*], Phan Thành Long[1], Lê Tất Hiển[2]

TÓM TẮT

Hiện nay, kích thước thân tàu được thiết kế ngày càng tăng lên nhằm đảm bảo nhu cầu vận chuyển hàng hoá trên thế giới. Tuy nhiên, khả năng điều động của con tàu có kích thước lớn sẽ trở nên khó khăn hơn, đặc biệt khi con tàu này di chuyển trong vùng nước bị giới hạn về chiều sâu. Do đó, ảnh hưởng của chiều sâu vùng nước đến lực và mô men thuỷ động tác dụng lên con tàu cần được nghiên cứu bổ sung. Nhiều công trình nghiên cứu về lực và mô men thuỷ động tác dụng lên tàu thuỷ hoạt động trong vùng nước sâu, trong khi đó ảnh hưởng của vùng nước nông đến lực và mô men thuỷ động tác dụng lên con tàu chưa được nghiên cứu một cách đầy đủ. Bài báo này trình bày kết quả tính toán lực dạt và mô men quay tác dụng lên thân tàu và bánh lái khi con tàu chuyển động dạt ngang dựa trên phương pháp tính toán động lực học chất lỏng. Lực dạt và mô men quay tác dụng lên con tàu chuyển động dạt ngang ở các vận tốc dạt và độ sâu vùng nước khác nhau sẽ được phân tích. Kết quả nghiên cứu cho thấy các hệ số lực dạt và mô men quay xấp xỉ với kết quả tương ứng được xác định từ thực nghiệm. Khi độ sâu vùng nước càng giảm thì lực dạt và mô men quay tác dụng lên con tàu càng tăng lên. Hệ số Y'_v của tàu hoạt động trên vùng nước nông với h/T=1.5 và h/T=2.0 tăng lên tương ứng 8.5 lần và 2.6 lần so với giá trị Y'_v của con tàu hoạt động ở vùng nước sâu. Hệ số N'_v của tàu trên vùng nước nông với h/T=1.5 và h/T=2.0 cũng tăng lên 5.2 lần và 2.7 lần so với trường hợp tàu hoạt động ở vùng nước sâu. Đồng thời, các hệ số Y'_{vvv} và N'_{vvv} của lực dạt và mô men quay cũng tăng lên đáng kể so với hệ số tương ứng của con tàu hoạt động trong vùng nước không bị giới hạn.

Từ khoá: Bánh lái, tàu côngtenơ, nước nông, lực dạt, mô men quay

[1]*Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam*

[2]*Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG-HCM, Việt Nam*

Liên hệ

Nguyễn Tiến Thừa, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

Email: ntthua@dut.udn.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 08-8-2023
- Ngày chấp nhận: 15-01-2024
- Ngày đăng: 31-12-2024

DOI :

https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iSI2.1162

Check for updates

Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNUHCM PRESS

GIỚI THIỆU

Tàu thuỷ không chỉ được thiết kế để hoạt động ở ngoài khơi mà còn được di chuyển ở cả trong những vùng nước nông để thực hiện nhiệm vụ nhận hoặc trả hàng. Điều động là một trong những đặc tính quan trọng giúp cho con tàu có thể làm việc an toàn và hiệu quả. Trong biển sâu, đặc tính chuyển động của tàu trên sóng hoặc trên nước tĩnh cần được xem xét đến, tuy nhiên sự ảnh hưởng của độ sâu vùng nước đến các thành phần chuyển động của con tàu cần được nghiên cứu khi con tàu hoạt động trong vùng nước nông. Khi tàu chuyển động trên vùng nước nông, vận tốc dòng chảy dưới đáy tàu bị tăng lên đáng kể khiến áp suất tác dụng thân tàu giảm nên độ chúi cũng như chiều chìm của tàu tăng lên. Để xác định đặc tính chuyển động của con tàu thì các lực và mô men thuỷ động lực tác dụng lên con tàu cần được tính toán. Các thành phần lực và mô men này có thể được xác định nhờ thực nghiệm hoặc phương pháp mô phỏng. Những năm gần đây phương pháp tính toán động lực học chất lỏng (CFD – Computational Fluid Dynamics) được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu các vấn đề liên quan đến chất lỏng bởi vì độ chính xác cao của nó. Điều này đã được thể hiện trong [1–4]. Bên cạnh đó, vận tốc chuyển động của tàu di chuyển trong vùng nước nông cũng làm thay đổi đáng kể đến đặc tính thuỷ động lực tác dụng lên thân tàu và thiết bị kèm theo [5]. Patel và đồng sự đã mô phỏng chuyển động của con tàu trên vùng nước nông có xem xét đến ảnh hưởng của mặt thoáng chất lỏng [5]. Sự ảnh hưởng của độ sâu vùng nước đến lực cản chuyển động của con tàu này đã được xét đến. Thêm vào đó, sự ảnh hưởng của độ sâu vùng nước đến tỉ lệ khung hữu hiệu của hình dạng bánh lái cũng được phân tích [6]. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng này có thể bị thay đổi khi bánh lái được đặt phía sau đuôi tàu.

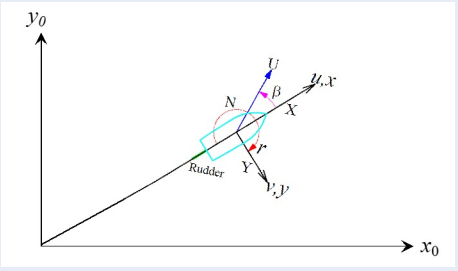
Trong nghiên cứu này, sự ảnh hưởng của nước nông đến đặc tính thuỷ động lực tác dụng lên thân tàu gắn theo bánh lái được phân tích dựa trên phương pháp tính toán động lực học chất lỏng với giả thiết con tàu chuyển động trên nước tĩnh ở vận tốc thấp.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trích dẫn bài báo này: Thừa N T, Long P T, Hiển L T. **Ước lượng lực dạt và mô men quay tác dụng lên tàu thuỷ chuyển động dạt ngang trong vùng nước nông**. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024, 6(SI2):17-22.

Hệ toạ độ và ký hiệu

Quỹ đạo chuyển động và thuỷ động lực học tác dụng thân tàu trên mặt phẳng nằm ngang được định nghĩa dựa trên hệ toạ độ cố định và hệ toạ độ gắn với thân tàu như thể hiện ở Hình 1. Các thành phần chuyển động, lực và mô men tác dụng lên con tàu được định nghĩa trong hệ toạ độ địa phương gắn với thân tàu, trong khi đó hệ toạ độ cố định được sử dụng để mô tả quỹ đạo chuyển động của con tàu trên mặt nước. Các thành phần chuyển động của con tàu hoạt động trên mặt nước gồm có: chuyển động tịnh tiến theo phương *ox* và *oy* và chuyển động quay theo phương *oz*. Véc tơ vận tốc theo phương *ox*, *oy* và quay quanh phương *oz* là *u*, *v*, *r*. Các thành phần lực tác dụng lên con tàu cũng như bánh lái gồm có lực cản (X) và lực dạt (Y) theo phương *ox* và *oy* và mô men quay (N) quanh phương *oz*. U và β tương ứng là vận tốc và góc quay ngang của con tàu.



Hình 1: Hệ toạ độ và các ký hiệu

Phương pháp tính toán

Phương trình động lực học dòng chảy Navier-Stokes số Reynold trung bình được sử dụng để mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu và bánh lái. Trong nghiên cứu này, dòng chảy bao quanh thân tàu được xem xét như dòng chảy không nén được và các định luật mô tả sự liên tục và động lực học của dòng chảy được thể hiện trong các phương trình sau[7]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} = -\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + v\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial \overline{u_i' u_j'}}{\partial x_j} \quad (1)$$

ở đó u_i và u_j là các thành phần vận tốc trung bình của chất lỏng, p là áp suất trung bình, v là độ nhớt động học, x_i và x_j là những toạ độ trong miền chất lỏng, và *Rh0* là mật độ của nước.

Khi tàu chuyển động dạt ngang, sự phân bố áp suất tác dụng lên hai bên mạn tàu sẽ bị thay đổi dẫn đến lực theo phương ngang và hoành độ tâm áp lực cũng thay đổi theo. Do đó, sự biến thiên của lực dạt và mô men quay theo vận tốc dạt khi con tàu ở các độ sâu vùng nước khác nhau cần được xem xét đến. Lực dạt và mô men quay tác dụng lên thân tàu được đưa về dưới dạng không thứ nguyên dựa trên chiều dài và vận tốc của con tàu được mô tả như sau:

$$Y' = \frac{Y}{0.5\rho U^2 L^2},\ N' = \frac{N}{0.5\rho U^2 L^3} \quad (2)$$

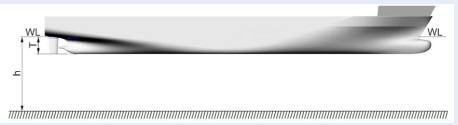
$$u'(v') = \frac{u(v)}{U} \quad (3)$$

MÔ PHỎNG SỐ

Trường hợp nghiên cứu

Tàu chở côngtenơ Kriso (Kriso Container Ship – KCS) gắn kèm một bánh lái NACA0018 được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của độ sâu vùng nước đến lực thuỷ động tác dụng lên bánh lái và thân tàu với giả định rằng ảnh hưởng của mặt thoáng gây ra độ chìm thêm tại vị trí giữa tàu và góc chúi của tàu được xác định dựa trên[8]. Bảng 1 mô tả các thông số hình học cơ bản của con tàu theo SIMMAN2020[9]. Hình 2 thể hiện hình dáng thân tàu và bánh lái nằm sau đuôi tàu cũng như định nghĩa chiều sâu vùng nước và chiều chìm của con tàu.

Lực dạt và mô men thuỷ động tác dụng lên thân tàu và bánh lái được xác định cho trường hợp tàu chuyển động trong vùng nước sâu và vùng nước nông có tỉ lệ chiều sâu vùng nước và chiều chìm của tàu bằng 1.5 và 2.0. Ảnh hưởng của độ sâu vùng nước đến các thành phần lực và mô men này cũng được xem xét đến.



Hình 2: Mô hình tàu KCS gắn bánh lái

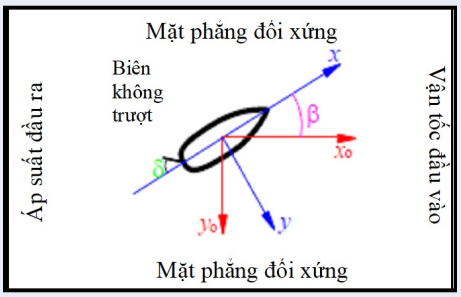
Mô phỏng số

Hình hộp chữ nhật được lựa chọn để mô tả miền chất lỏng bao quanh con tàu khi tàu chạy dạt ngang. Dòng chảy một pha bao quanh thân tàu được giả định để tính toán thuỷ động lực tác dụng lên bánh lái và thân tàu. Với số Reynolds của dòng chảy bao quanh thân tàu bằng ~8.1E+5, chiều dày lớp biên không thứ nguyên, yplus = 20, được lựa chọn để tính toán chiều dày phần tử lưới thứ nhất sát bề mặt vỏ tàu dựa trên công cụ tính toán trong CFD Online[10]. Miền chất lỏng và điều kiện biên cho dòng chảy qua thân tàu và bánh lái trong chuyển động dạt ngang được thể

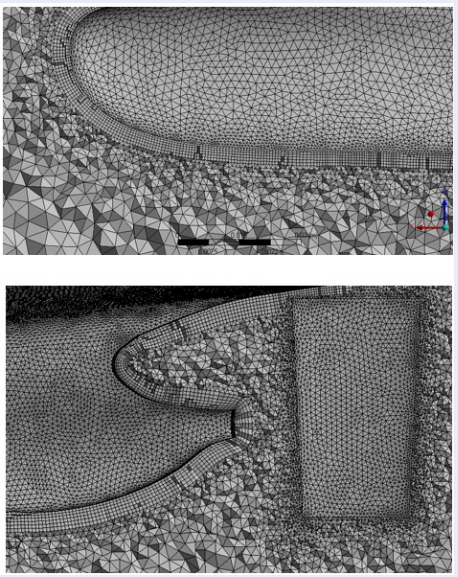
Bảng 1: Thông số cơ bản của tàu KCS và bánh lái

Thông số cơ bản	Tàu thật	Mô hình
Tỷ lệ	1.0	230
Chiều dài giữa hai trụ, Lpp (m)	230.0	1.00
Chiều rộng, (m)	32.20	0.140
Chiều chìm, d (m)	10.80	0.047
Chiều cao bánh lái, hr (m)	9.90	0.043
Chiều rộng lớn nhất của bánh lái, c_1 (m)	6.00	0.026
Chiều rộngnhỏ nhất của bánh lái, c_2 (m)	5.00	0.022

hiện trong Hình 3. Mặt trước của miền chất lỏng được định nghĩa là vận tốc đầu vào, mặt sau của miền chất lỏng được thiết lập là áp suất đầu ra. Hai mặt cạnh của miền chất lỏng được mô tả là mặt phẳng đối xứng. Điều kiện biên không trượt được áp dụng để mô phỏng sự ma sát của dòng chảy trên bề mặt con tàu và đáy của vùng nước. Để tiến hành mô phỏng, miền chất lỏng được rời rạc bởi các phần tử thể tích hữu hạn như thể hiện trong Hình 4. Phần tử tứ diện được sử dụng để rời rạc miền chất lỏng và hình dáng vỏ tàu. Hình dạng phần mũi tàu, đuôi tàu, ki tàu và phần bao quanh bánh lái được xấp xỉ bởi các phần tử nhỏ hơn đáng kể so với miền chất lỏng còn lại để mô phỏng được sự tương tác giữa dòng nước và con tàu. Ở sát thân tàu, lưới cho lớp biên cũng được xây dựng để mô phỏng sự ma sát giữa thân tàu và chất lỏng. Đối với lưới tứ diện, chất lượng lưới được thể hiện qua giá trị của skewness. Giá trị skewness của lưới được sử dụng để mô phỏng trong nghiên cứu này là 0.79.



Hình 3: Miền chất lỏng và điều kiện biên



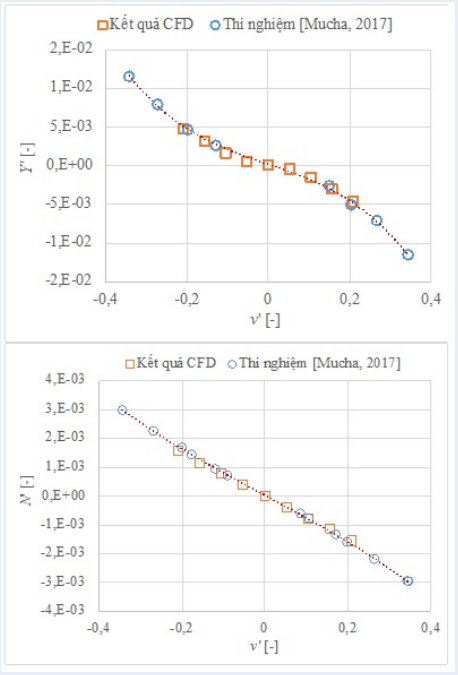
Hình 4: Chất lượng lưới, lưới trong lớp biên ở vùng mũi và vùng đuôi tàu

Phương trình Navier-Stokes số Reynolds trung bình trong phần mềm Ansys Fluent được sử dụng để mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu và bánh lái. Theo khuyến cáo của Tổ chức bể thử quốc tế về ứng dụng của CFD trong kĩ thuật tàu thuỷ [11], mô hình rối k-epsilon hoặc k-omega có thể được ứng dụng để dự đoán thuỷ động lực thân tàu với độ chính xác cao. Để giảm thiểu thời gian tính toán, mô hình rối Realizable k-epsilon được lựa chọn để mô phỏng dòng chảy rối bao quanh con tàu.

KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

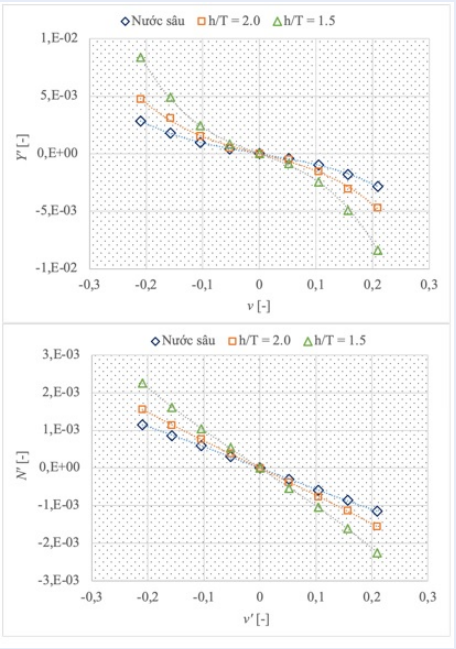
Lực và mô men tác dụng lên thân tàu và bánh lái được xác định từ phương pháp mô phỏng CFD sẽ được so sánh với kết quả thực nghiệm được mô tả bởi Mucha [12]. Tàu di chuyển chậm trong vùng nước nông nên vận tốc của mô hình tàu được lựa chọn theo SIMMAN2020 là 0.814m/s. Lực dạt và mô men quay tác dụng lên thân tàu và bánh lái được xác định khi sai số mô phỏng nhỏ hơn 1E-05. Các lực và mô men thuỷ

động này sau đó được đưa về dưới dạng không thứ nguyên dựa vào công thức 2~3. Hình 4 mô tả sự so sánh hệ số lực dạt và mô men quay xác định từ phương pháp mô phỏng và kết quả thực nghiệm của Mucha [12] cho trường hợp tàu chuyển động trên vùng nước nông với h/T=2.0. Có thể thấy rằng kết quả đạt được từ hai phương pháp này khá tương đồng với nhau.



Hình 5: So sánh kết quả tính toán với kết quả thí nghiệm cho trường hợp h/T = 2.0

Tiếp theo, chuyển động của tàu trên vùng nước sâu và trên vùng nước nông với h/T=1.5 được mô phỏng. Lực dạt và mô men quay tác dụng lên thân tàu khi con tàu di chuyển trong vùng nước nông với h/T=1.5 và 2.0 và vùng nước sâu được thể hiện trong Hình 6. Có thể thấy rằng cả lực dạt và mô men quay tác dụng lên con tàu đều tăng lên đáng kể khi độ sâu của vùng nước bị giảm đi. Khi độ sâu vùng nước càng giảm thì các thành phần lực dạt và mô men quay càng tăng lên. Các lực dạt và mô men tác dụng lên thân tàu được xấp xỉ để xác định được các hệ số thuỷ động lực sử dụng cho mô phỏng quỹ đạo chuyển động của con tàu. Khi vận tốc dạt thay đổi hướng thì các lực dạt và mô men tác dụng lên thân tàu cũng thay đổi dấu theo. Do đó, chuỗi Taylor với những số hạng lẻ được sử dụng để xấp xỉ các lực và mô men này để xác định hệ số lực dạt và hệ số mô men quay tàu khi con tàu hoạt động ở những độ sâu vùng nước khác nhau. Bảng 2 thể hiện hệ số lực dạt biến đổi theo vận tốc chuyển động theo phương y của con tàu. Tương tự, các hệ số mô men quay theo vận tốc dạt ngang được thể hiện trong Bảng 3.



Hình 6: Lực dạt va mô men quay tác động lên thân tàu ở những độ sâu vùng nước khác nhau

KẾT LUẬN

Chuyển động dạt ngang của tàu chở côngtenơ KCS và bánh lái được mô phỏng ở các độ sâu vùng nước khác nhau dựa trên phương pháp tính toán động lực học chất lỏng. Lực dạt và mô men quay tác dụng lên con tàu khi hoạt động ở vùng nước nông với h/T = 1.5 và 2.0 và nước sâu đã được xác định. Kết quả mô phỏng cho thấy lực dạt và mô men thu được xấp xỉ với kết quả thử nghiệm đã được công bố. Vùng nước nông có ảnh hưởng rõ rệt đến thuỷ động lực học dòng chảy bao quanh thân tàu và làm gia tăng lực dạt và mô men quay tác dụng lên thân tàu và bánh lái. Khi tàu di chuyển trên vùng nước nông với h/T=1.5 và h/T=2.0 thì hệ số lực dạt bậc nhất, Y'_v, tăng lên tương ứng 8.5 lần và 2.6 lần so với giá trị tương ứng của tàu hoạt động ở vùng nước sâu. Tương tự, hệ số mô men quay bậc nhất, N'_v, cũng tăng lên tương ứng 5.16 lần và 2.7 lần so với hệ số mô men quay tương ứng của tàu hoạt động ở vùng nước sâu. Các hệ số Y'_{vvv} và N'_{vvv} của lực dạt và mô men quay cũng tăng lên so với hệ số tương ứng của tàu hoạt động trong vùng nước sâu.

Bảng 2: Hệ số lực dạt ngang của tàu KCS

h/T [-]	Y'_v	Y'_{vvv}
1.5	-7.07E-02	-1.3964
2.0	-3.13E-02	-9.45E-01
Nước sâu	-8.24E-03	-1.45E-01

Bảng 3: Hệ số mô men quay của tàu KCS

h/T [-]	N'_v	N'_{vvv}
1.5	-2.74E-02	-1.58E-01
2.0	-1.45E-02	-5.70E-02
Nước sâu	-5.30E-03	1.32E-03

SỰ CÔNG NHẬN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2020-DN02-85.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

CFD: Động lực học chất lỏng – Computational Fluid Dynamics
ITTC: Hội nghị bể thử quốc tế - International Towing Tank Conference

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Tiến Thừa tham gia vào việc đưa ra ý tưởng viết bài, đi thu thập dữ liệu và viết bản thảo.
Phan Thành Long đã đóng góp giải thích dữ liệu và kiểm tra lại bài viết.
Lê Tất Hiển đã đóng góp rà soát nội dung và hình thức của bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Jachowski J. Assessment of Ship Squat in Shallow Water using CFD. Arch Civ Mech Eng. 2008 Aug;8(1):27-35;Available from: https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60264-7.
2. Patel PK, Premchand M. Numerical Investigation of the Influence of Water Depth on Ship Resistance. Comput Appl. 2015 Apr;116(17):11-17;Available from: https://doi.org/10.5120/20427-2750.
3. Terziev M, Tezdogan T, Oguz E, Gourlay T, Demirel YK, Incecik A. Numerical investigation of the behaviour and performance of ships advancing through restricted shallow waters. Fluids Struct. 2017 Oct;76:185-215;Available from: https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2017.10.003.
4. Toxopeus S. Viscous-flow Calculations for KVLCC2 in Deep and Shallow Water. In: Proc. Computational Method in Marine Engineering, Lisbon, Portugal; 2011. p. 1-18;.
5. Vantorre M. Review of practical methods for assessing shallow and restricted water effects. In: Proc. Marine Simulation and Ship Maneuverability, Kanazawa, Japan; 2003. p. 1-11;.
6. Liu JL, Hekkenberg R. 3D RANS simulations of shallow water effects on rudder hydrodynamic characteristics. In: Proc. Maritime Technology, Harbin, China; 2016. p. 1-5;.
7. Jean P. Turbulent Flows: Models and Physics. Springer Science & Business Media; 2013;.
8. Gourlay T, Ha JH, Mucha P, Uliczka K. Sinkage and Trim of Modern Container Ships in Shallow Water. In: Proc. Australasian Coasts & Ports, Auckland, New Zealand; 2015. p. 1-7;.
9. Simman;Available from: https://www.simman2020.kr/contents/KCS.php.
10. CFD online;Available from: https://www.cfd-online.com/Tools/yplus.php.
11. International Towing Tank Conference (ITTC). ITTC-Recommended Procedures and Guidelines: Practical Guidelines for Ship CFD Applications. 2011;.
12. Mucha P. On Simulation-based Ship Maneuvering Prediction in Deep and Shallow Water. Universität Duisburg-Essen, Germany; 2017;.

Science & Technology Development Journal – Engineering and Technology 2024, 6(SI2):17-22

Open Access Full Text Article

Research Article

Estimation of sway force and yaw moment acting on ship in drift motion in shallow water

Nguyen Tien Thua[1,*], Phan Thanh Long[1], Le Tat Hien[2]

ABSTRACT

Currently, the ship size is increased dramaticaly to meet the demand for cargo transportation in the world. However, the maneuverability of a large ship will become more difficult, especially when the ship moves in shallow water area. Hence, the influence of water depth on the hydrodynamic forces and moments acting on the ship should be considered more. Many studies have conducted the research on hydrodynamic forces and moments of the ship in deep water, while the effect of shallow water on the ship is being focused on recent years. The article presents the results of the sway force and yaw moment acting on the ship's hull and rudder when the ship moves horizontally based on the computational fluid dynamics method. The sway forces and yaw moments acting on the ship in drifting motion at different speeds and water depths will be analyzed. The results show that the coefficients of the sway force and yaw moment are in good agreement with the experimental data. As the water depth decreases, the sway force and yaw moment acting on the ship also increases. The Y'_v coefficient of a ship operating in shallow water with h/T=1.5 and h/T=2.0 increases by 8.5 times and 2.6 times, respectively, compared to the Y'_v value of the ship operating in deep water. The coefficient N'_v of the ship in shallow water with h/T=1.5 and h/T=2.0 also increased 5.2 times and 2.7 times in comparison with the corresponding of the ship in deep water. Also, the coefficients Y'_{vvv} and N'_{vvv} of the sway force and yaw moment also increase significantly compared to these coefficients of the ship in unrestricted waters.

Key words: Marine rudder, container ship, shallow water, sway force, yaw moment

[1]*Univeristy of Science and Technology - The University of Danang, Vietnam*

[2]*Ho Chi Minh City University of Technology - Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam*

Correspondence

Nguyen Tien Thua, Univeristy of Science and Technology - The University of Danang, Vietnam

Email: ntthua@dut.udn.vn

History

- Received: 08-8-2023
- Accepted: 15-01-2024
- Published Online: 31-12-2024

DOI : https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iSI2.1162

Check for updates

Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNUHCM PRESS

Cite this article : Thua N T, Long P T, Hien L T. **Estimation of sway force and yaw moment acting on ship in drift motion in shallow water**. *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024, 6(SI2):17-22.