

TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ TƯƠNG TÁC CỦA TÀU  
VỚI NỀN ĐÁY LUỒNG TRONG MÔI TRƯỜNG BÁN TĨNH  
CALCULATION OF INTERACTION PARAMETERS BETWEEN SHIP  
WITH THE GROUND OF THE FAIRWAY IN A QUASI-STATIC SETTING

PHẠM TRUNG HIỆP\*, KULESH VICTOR ANATOLEVICH

Khoa Kỹ thuật hàng hải và Giao thông vận tải,  
Trường Đại học Tổng hợp Liên Bang Viễn Đông, Liên Bang Nga

\*Email liên hệ: [phiepast07@gmail.com](mailto:phiepast07@gmail.com)

**Tóm tắt**

Bài báo đề xuất phương pháp tính toán các thông số tương tác giữa tàu với nền đáy luồng trong môi trường bán tĩnh (khoảng dịch chuyển, vận tốc, gia tốc và lực). Phương pháp này được xây dựng dựa trên cơ sở phương pháp luận của Đăng kiểm tàu biển Nga đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA. Bài báo đã tiến hành phân tích sự ảnh hưởng của các thông số trên đến quá trình tương tác giữa đáy tàu và nền đáy. Kết quả phân tích đã chỉ ra hướng áp dụng phương pháp tính toán đề xuất trong bài báo vào quá trình thiết kế và vận hành tàu chuyên dụng trong các trường hợp cần thiết.

**Từ khóa:** Mắc cạn, tương tác của tàu với bùn đất, phương pháp tính toán, thông số tương tác.

**Abstract**

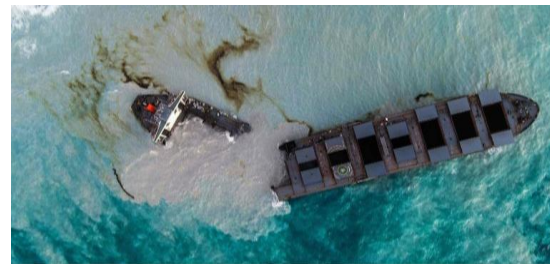
This paper proposes a calculation method of interaction parameters between ship and ground of the fairway in a quasi-static setting. This method is based on methodology of the Russian Maritime Register of Shipping for specialized ships NAABSA. The influence of the parameters to the interaction between the ship bottom and the ground was analyzed. The analysis results show the direction of application of the proposed calculation method to the design and operation of specialized ships in necessary cases.

**Keywords:** Grounding, interaction of ship with the ground, calculation method, interaction parameters.

**1. Đặt vấn đề**

Ngành vận tải biển sở hữu ưu thế vượt trội về khả năng chuyên chở lớn trong khi giá thành vận chuyển thấp, đem lại lợi ích về mặt kinh tế - kỹ thuật cho đời sống con người. Tuy nhiên, vận tải biển luôn tồn tại nguy cơ tai nạn do bị phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện tự nhiên của môi trường hoạt động như thời tiết, khí tượng thủy văn và các yếu tố khác. Hiện nay vấn đề an toàn vận tải biển đang là vấn đề cấp bách không chỉ

của Việt Nam mà trên toàn thế giới. Theo số liệu thống kê trong giai đoạn 2014-2019 trên thế giới có hơn 13200 vụ tai nạn hàng hải xảy ra, trong đó sự cố tai nạn có liên quan đến sự tương tác giữa tàu và bùn đất chiếm gần 13% [1]. Những tai nạn này gây ra tổn thất nặng nề về hàng hóa, tàu thuyền, con người và ô nhiễm môi trường. Để khắc phục những hậu quả đó cần rất nhiều thời gian và nguồn lực. Tháng 7 năm 2020 tàu chở dầu MV Wakashio (Nhật Bản) bị mắc cạn tại vùng biển Mauritius thuộc Ấn Độ Dương (Hình 1). Hậu quả của tai nạn làm thân tàu bị nứt gãy và lượng dầu tràn ra biển ước tính hơn một nghìn tấn [2].



Hình 1. Tàu MV Wakashio (Nhật Bản) bị mắc cạn

Ngoài ra có những trường hợp không được tính là tai nạn dù có xuất hiện sự tương tác giữa tàu và bùn đất như: hoạt động đổ bộ tàu quân sự; cập bờ tàu chuyên dụng để bốc dỡ hàng hóa ở các vùng bờ biển không có bến neo đậu và cập bờ các tàu để phá dỡ [3].

Hiện nay, chủ tàu rất quan tâm tới việc tăng cường độ bền của tàu khi tương tác với bùn đất, cùng với đó một số nghiên cứu tính toán gia cố đặc biệt của thân tàu đã được thực hiện [4, 5]. Tuy nhiên, phương pháp tính toán thông số tương tác giữa tàu và bùn đất còn hạn chế, đặc biệt là tính toán tốc độ di chuyển của tàu. Đa phần những nghiên cứu hiện tại trong lĩnh vực này chủ yếu tập trung vào trường hợp tai nạn mắc cạn tàu, chưa đề cập tới các trường hợp khai thác thông thường. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đề xuất phương pháp tính toán các thông số tương tác của tàu và bùn đất có thể áp dụng đối với tất cả các trường hợp trên. Phương pháp này được xây dựng dựa trên cơ sở

phương pháp luận của Đăng kiểm tàu biển Nga (RS) đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA (Not Always Afloat But Safely Aground) [6].

## 2. Phương pháp tính toán

Theo Đăng kiểm Nga [7] phản lực của bùn đất lên mũi tàu  $R_N^m$ , kN, xác định theo công thức (1):

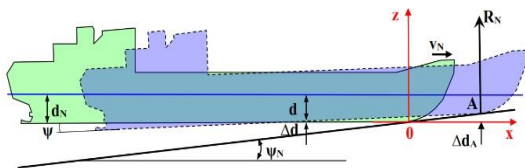
$$R_N^m = g \Delta_N \left[ \frac{tg(\psi_N - \psi_0 - \psi_S - \psi_{0N})}{6} \cdot \frac{L}{d_N} \right] + R_{0N} \quad (1)$$

Trong đó,  $\Delta_N$  - Lượng chiếm nước của tàu, tấn;  $L$  - Chiều dài tàu, m;  $d_N$  - Mớn nước ở giữa thân tàu, m;  $\psi_N$  - góc nghiêng của bùn đất dọc theo thân tàu;  $\psi_0$  và  $\psi_S$  - Góc nghiêng của ky đáy tàu so với mặt phẳng cơ bản và góc chúi của tàu;  $\psi_{0N}$  - Góc nghiêng dọc tàu khi tiếp đất có vận tốc;  $R_{0N}$  - Phản lực ban đầu khi tiếp đất có vận tốc, tấn. Tất cả các giá trị góc được đo bằng đơn vị độ.

Trong công thức (1) các giá trị  $R_{0N}$  và  $\psi_{0N}$  hiện tại theo Quy phạm RS chưa có công thức xác định cụ thể. Trong các tài liệu kỹ thuật, để xác định giá trị của các đại lượng trên có thể sử dụng các phương pháp khác nhau, ví dụ như phép tính số có tính đến động lực học và độ rung thân tàu [8, 9] hoặc sử dụng các công thức thực nghiệm đơn giản. Ví dụ trong tài liệu [10] lực tương tác được xác định bằng công thức:

$$F = 0,98 \frac{m^{0,5} v}{8,22}, \text{ MN} \quad (2)$$

Trong đó:  $m$  - Khối lượng của tàu, tấn;  $v$  - Giá trị của vận tốc theo phương thẳng đứng, m/s.



Hình 2. Hệ tọa độ và các thông số của tàu trong quá trình tiếp đất

Hình 2 mô tả hệ tọa độ với gốc tọa độ là điểm tiếp xúc đầu tiên của mũi tàu với bùn đất và các thông số khác. Tàu mẫu chuyển động tịnh tiến với vận tốc đều cho trước, khi chạm đất tàu mẫu chuyển động đồng thời theo phương ngang và phương thẳng đứng. Động năng ban đầu dần chuyển hóa thành các dạng năng lượng khác và các thông số chuyển động của tàu liên tục thay đổi cho đến khi tàu dừng lại.

Các tính toán thông số tương tác giữa tàu và bùn đất thực hiện trong môi trường bán tĩnh, bỏ qua các dao

động và rung lắc của thân tàu. Giả thiết rằng, chu kỳ tương tác với bùn đất dài hơn rất nhiều so với chu kỳ dao động tự do của thân tàu và các kết cấu của nó.

Điểm A là điểm đặt của phản lực theo phương thẳng đứng và thực tế không thay đổi vị trí trên thân tàu. Từ các điều kiện cân bằng của lực và mômen kết hợp với công thức của Quy phạm RS (1), đối với một chuyển vị cho trước của điểm A dọc theo trục Z có thể xác định được các đại lượng như sau:

Phản lực thẳng đứng:

$$R_N = \Delta_N \frac{\Delta d_A}{7 d_N} \quad (3)$$

Góc nghiêng dọc do sự nâng phần mũi tàu:

$$tg \psi = \frac{5 \Delta d_A}{7 L} \quad (4)$$

Thay đổi mớn nước ở giữa tàu:

$$\Delta d = \frac{4}{7} \Delta d_A \quad (5)$$

Trong đó,  $\Delta d_A$ : Là sự thay đổi mớn nước của tàu tại điểm A, m, được tính bằng tọa độ của nó theo trục Z.  $\Delta d_A$  phụ thuộc vào thời gian và tọa độ của điểm A theo trục X.

Bài toán về sự tương tác của tàu với bùn đất chuyển thành phân tích phương trình bảo toàn năng lượng theo thời gian:

$$\frac{m \cdot (1 + \mu) \cdot v_N^2}{2} = \Delta_N \cdot \Delta d + E_T + E_C + \dots \quad (6)$$

Trong đó:  $\mu$  - Hệ số khối lượng nước kèm;  $\Delta_N \cdot \Delta d$  - Thế năng của tàu chuyển động theo phương thẳng đứng, N×m;  $E_T$  - Năng lượng tiêu hao do ma sát, N×m;  $E_C$  - Năng lượng ép lún bùn đất và những tiêu hao năng lượng khác, N×m, ví dụ như, năng lượng làm biến dạng thân tàu, năng lượng làm dịch chuyển bùn đất, những tiêu hao năng lượng này rất nhỏ và có thể bỏ qua trong quá trình tính toán.

Giả sử toàn bộ động năng ban đầu của tàu khi kết thúc chuyển động chuyển hóa hoàn toàn thành thế năng làm nâng tàu lên theo phương Z, thì nghiệm của phương trình (1) có thể biểu diễn dưới dạng biểu thức đại số dạng đóng như sau:

$$R_{0N} \cong (1 + \mu) \frac{\Delta_N v_N^2}{8 g d_N} \quad (7)$$

Trong đó: Hệ số khối lượng nước kèm  $\mu$  theo

[11] xác định bằng:

$$\mu = \frac{\pi d_N^2 L \gamma_w}{4 \Delta_N} \quad (8)$$

Với  $\gamma_w = 1,025$  - Khối lượng riêng của nước biển,  $\text{kg/m}^3$ .

Góc nghiêng dọc của tàu do tương tác:

$$\psi_{0N} \cong \arctg \left( \frac{6R_N d_N}{\Delta_N L} \right) \quad (9)$$

Năng lượng tiêu hao do ma sát được xác định bằng tích phân công của lực ma sát trên độ dài  $s$ ,  $m$ , tương ứng:

$$E_T = \int_s k_F R_N(s) ds \quad (10)$$

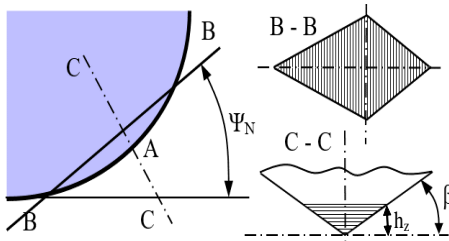
Trong đó  $k_F$  - Hệ số ma sát.

Năng lượng tiêu hao ép lún bùn đất có thể xác định bằng tích phân của thể tích bùn đất bị ép lún:

$$E_C = R_0 \iiint_V F(x, y, z) dx dy dz \quad (11)$$

Trong đó,  $R_0$  - Sức kháng của bùn đất,  $\text{KPa}$ .

Để giải phương trình (11), cần có các thông số về hình dạng thân tàu trong vùng tiếp xúc với bùn đất, cũng như điều kiện giới hạn độ sâu của vỏ tàu bị lún vào đất.



**Hình 3. Sơ đồ xác định các thông số về độ lún của tàu**

Hình 3 thể hiện mặt cắt phần tiếp xúc của mũi tàu và mặt bùn đất tại điểm A.

Điều kiện giới hạn mức độ lún của thân tàu xuống bùn đất biểu diễn bằng bất đẳng thức (12):

$$P \leq R_N \cos \psi_N \quad (12)$$

Với  $P$  là áp lực cục bộ,  $\text{kN}$ , được xác định thông qua áp suất  $p$ ,  $\text{KPa}$ , và diện tích tiếp xúc  $S$ ,  $\text{m}^2$ . Trong đó, suất  $p$  được tính bằng công thức (13) [7]:

$$p = 10d_N (1 + 4 / \sqrt{S}) \quad (13)$$

Theo đó, bất phương trình (12) có thể viết dưới dạng:

$$10d_N (S + 4 \cdot \sqrt{S}) \leq \Delta_N \frac{x \cdot \text{tg} \psi_N - h_z}{7d_N} \cos \psi_N \quad (14)$$

Trong đó:  $x$  - Tọa độ của điểm A theo trục X,  $m$ ;  
 $h_z$  - Độ lún trong bùn của điểm A theo trục Z,  $m$ .

Diện tích của vùng tiếp xúc  $S$  được biểu diễn dưới dạng một hàm của hình chiếu độ sâu của của điểm A theo trục Z:

$$S \cong h_z^2 / (\text{tg} \beta \cdot \sin \psi_N) \quad (15)$$

Thế (15) vào (14) ta thu được nghiệm của phương trình (14) có dạng:

$$h_z = \frac{\sqrt{b^2 - 4ac} - b}{2a} \quad (16)$$

Trong đó:  $a = \frac{10d_N}{\text{tg} \beta \cdot \sin \psi_N}$ ,

$$b = \frac{40d_N}{\sqrt{\text{tg} \beta \cdot \sin \psi_N}} + \Delta_N \frac{\cos \psi_N}{7d_N}$$

$$c = -\Delta_N \cos \psi_N \frac{x \cdot \text{tg} \psi_N}{7d_N}$$

Xét trong khoảng dịch chuyển rất nhỏ của tàu mẫu -  $\Delta x$ , thể tích bùn đất bị nén ép tại bước thứ  $i$  được tính bằng:

$$\Delta V_i \cong \Delta x \cdot h_{zi}^2 / \text{tg} \beta, \text{ m}^3 \quad (17)$$

### 3. Thuật toán

Trên cơ sở phương pháp tính toán đã trình bày, nhóm tác giả đã đưa ra thuật toán và phần mềm tính toán “ShipGround” để tính các thông số tương tác của tàu và mặt bùn đất.

Quá trình tương tác được chia thành các khoảng dịch chuyển rất nhỏ của tàu theo phương X. Trong mỗi khoảng chuyển động, tọa độ vị trí của điểm A dọc theo trục Z được xác định, trong đó có tính toán đến độ lún của tàu trong bùn đất.

Trong mỗi khoảng thời gian, độ giảm động năng của tàu bằng tổng của năng lượng chuyển hóa thành thể năng nâng tàu theo phương Z, năng lượng tiêu hao do ma sát và năng lượng tiêu hao do nén ép bùn đất:

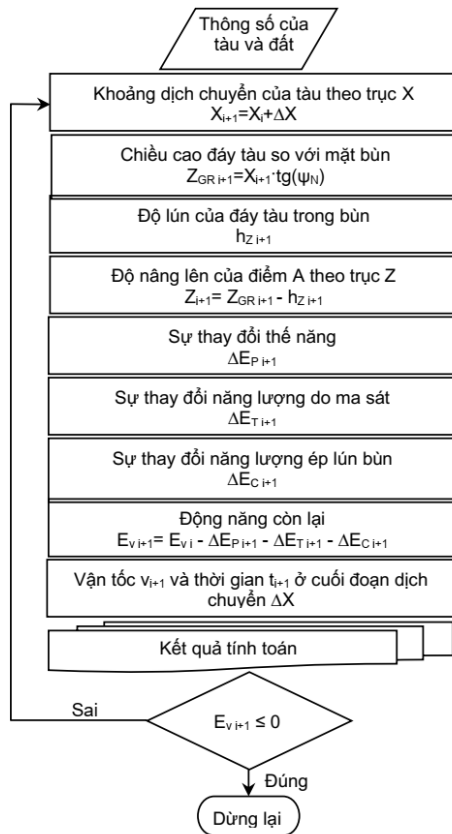
$$\frac{mv_{x,i+1}^2}{2} = \frac{mv_{x,i}^2}{2} - (\Delta P_{i+1} + \Delta E_{C,i+1} + \Delta E_{T,i+1}) \quad (18)$$

Thời gian tương tác của một chuyển động được xác

định thông qua vận tốc trung bình theo công thức (19):

$$t_{i+1} = t_i + \frac{\Delta x}{0,5(v_{x,i} + v_{x,i+1})}, s \quad (19)$$

Các phép tích phân được xác định bằng công thức hình thang. Quá trình tính toán kết thúc khi động năng còn lại bằng không. Trong quá trình tính toán, sai số và các thông số chính của tương tác được xác định: Độ dịch chuyển, góc nghiêng dọc, vận tốc, gia tốc và các giá trị lực.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán

Thuật toán được biểu diễn bằng sơ đồ khối trong Hình 4.

#### 4. Kết quả tính toán và thảo luận

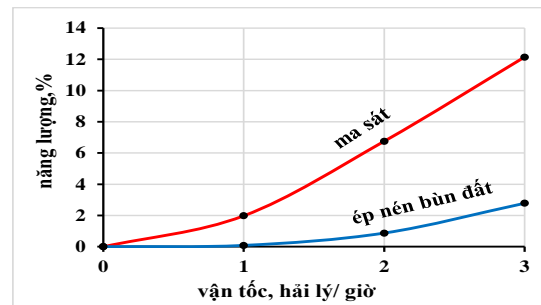
Các tính toán thử nghiệm được thực hiện trên các tàu khác nhau và trong các điều kiện khác nhau. Dưới đây là kết quả tính toán đối với một trường hợp khai thác tàu thông thường. Các thông số của tàu được chọn và điều kiện tính toán thể hiện trong Bảng 1.

Tính toán cho thấy, góc nghiêng dọc của tàu khi tiếp xúc với bùn đất có giá trị nhỏ. Tại vận tốc 3 hải lý/giờ, giá trị của không vượt quá 1/20 giá trị của góc nghiêng mặt bùn đất và thực tế có thể không được tính đến.

Bảng 1. Thông số của tính toán thử nghiệm

Thông số	Giá trị
Lượng chiếm nước, tấn	865
Chiều dài, m	46
Chiều rộng, m	8,8
Mớn nước, m	2,5
Góc nghiêng của đáy tàu, độ	15-75
Vận tốc đồ bộ, hải lý/giờ	1-3
Góc nghiêng mặt bùn đất, độ	3-9
Hệ số ma sát	0,4-0,8
Sức kháng của bùn đất, KPa	100-600

Khoảng 85% - 98% động năng ban đầu chuyển hóa thành thế năng; năng lượng tiêu hao do ma sát chiếm từ 2 đến 12% tổng năng lượng ban đầu; năng lượng nén ép bùn đất nhỏ và không vượt quá 3% tổng năng lượng ban đầu (Hình 5).



Hình 5. Sự ảnh hưởng của vận tốc đầu tới các thành phần năng lượng

Khi các yếu tố: Hệ số ma sát, lực cản nén ép, góc nghiêng của mặt bùn đất, góc nghiêng của đáy tàu thay đổi trong khoảng đã cho thì phản lực theo phương thẳng đứng thay đổi không đáng kể. Trong khi đó, thời gian tương tác giữa tàu và bùn đất giảm gần 2 lần khi góc nghiêng của mặt bùn thay đổi và tăng gần 2 lần khi góc nghiêng đáy tàu thay đổi.

Kết quả tính toán cho phép kiểm soát các thông số trong quá trình đồ bộ như: Vận tốc tiếp đất, độ chênh dọc vận hành của tàu và hướng chuyển động so với pháp tuyến của mép nước. Ngoài ra, kết quả tính toán này cũng giúp người thiết kế tàu có thể lựa chọn các thông số phục vụ quá trình thiết kế tàu như góc chúi của tàu và góc nghiêng của đáy. Thông số về góc nghiêng của đáy tàu có ý nghĩa trong việc thiết kế hình dáng thân tàu và việc sử dụng các cấu trúc gia cố đáy tàu như sóng phụ và skeg.

#### 5. So sánh

Trong phần này của bài báo, nhóm tác giả tiến hành so sánh kết quả tính toán áp dụng phương pháp

được đề xuất trong bài báo với kết quả tính theo công thức thực nghiệm (2). Có thể thấy, công thức (2) không lý tưởng theo quan điểm của cơ sở Lý thuyết thứ nguyên và tương tự, do theo nguyên tắc này lực tỷ lệ thuận với tích bậc 1 của khối lượng và gia tốc. Ngoài ra, trong công thức (2) còn có tới 2 hệ số tự do điều này không thuận lợi khi tính toán.

Trong công thức (2) vận tốc thẳng đứng được xác định bằng tỷ số giữa khoảng dịch chuyển của điểm A theo phương Z và khoảng thời gian tương tác.

Bảng 1 thể hiện kết quả so sánh lực tương tác xác định bằng công thức (2) và phương pháp đề xuất trong bài báo.

**Bảng 2. So sánh kết quả tính toán phân lực**

Vận tốc, hải lý/giờ	Vận tốc thẳng đứng, m/s	Công thức (2), tấn	Phương pháp đề xuất, tấn	Chênh lệch, %
5	0,075	26,5	25,7	-3,0
10	0,178	63,4	67,6	6,6
15	0,293	104	111	6,7

Kết quả so sánh cho thấy sự chênh lệch khi tính toán bằng 2 phương pháp trên không lớn (không vượt quá 6,7%). Theo đó, có thể đề xuất áp dụng phương pháp tính toán trên vào nghiên cứu tính toán các thông số tương tác giữa tàu và bùn đất trong các trường hợp cần thiết.

## 6. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp tính toán đề xuất trong bài báo có thể áp dụng đánh giá các thông số tương tác giữa tàu và bùn đất trong các trường hợp tiếp đất của tàu.

Công thức (7) và (9) được tìm ra trong bài báo góp phần hoàn thiện phương pháp tính toán các thông số tương tác giữa tàu và bùn đất.

Kết quả phân tích sự ảnh hưởng của các tham số tới quá trình tương tác giữa tàu và bùn đất đã chỉ ra hướng áp dụng phương pháp tính toán đề xuất trong bài báo vào quá trình thiết kế và vận hành tàu chuyên dụng trong các trường hợp cần thiết.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] EMSA, Annual overview of marine casualties and incidents 2019.  
 [2] The Japanese-owned MV Wakashio ran aground.  
 URL: <https://english.siyathanews.lk/>  
 [3] Phạm Trung Hiệp, Kulesh V.A, *Tàu chuyên dụng và định hướng phát triển cơ sở hạ tầng du lịch biển*

*Việt Nam*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân, Số 05(42), tr.60-69, 2020.

[4] Герман А. П, *Разработка схем усиления судна для взаимодействия с грунтом*, А. П. Герман, В. А. Кулеш, Фам Чунг Хиеп, Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Т. 12. № 5, с.915-925, 2020.  
 [5] Кулеш В.А., Азовцев А.И, *Опыт приведения судна к условиям класса NAABSA (посадка на грунт)*, Морские интеллектуальные технологии, Т. 2, № 1(47), С. 69-76, 2020.  
 [6] Азовцев А. И. Предложения по развитию требований к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт/ А. И. Азовцев, В. И. Евенко, В. А. Кулеш, М. А. Кутейников, А. С. Огай, В. А. Петров // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. - № 42-43. - С. 47-58. 2016.  
 [7] Российский морской регистр судоходства. РМРС, *Правила классификации и постройки морских судов*. Ч. 17, раздел 15, Требование к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт (суда NAABSA). СПб., С.258-269. 2020.  
 [8] Hansen N.E.O, *Soil mechanics of ship beaching*. N. E. O. Hansen, B. C. Simonsen, M. J. Sterndorff.Coastal Engineering 1994, pp.3030-3044, 1995.  
 [9] Pedersen T.P, *Absorbed energy in ship collision and grounding - Revising Minorsky's Empirical Method*. T. P. Pedersen, S. Zhang, Journal of Ship Research, Vol.44. No.2, pp.140-154, 2000.  
 [10] Simonsen B.C, *Mechanics of Ship Grounding*. PhD. thesis, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, 265 p, 1997.  
 [11] Симаков Г.В., Марченко Д.В., Шхинек К.Н, *Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия судов с преградами*, Д.В. Марченко, К.Н. Шхинек. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 184 с, 1979.

Ngày nhận bài:	29/3/2021
Ngày nhận bản sửa lần 1:	18/4/2021
Ngày nhận bản sửa lần 2:	13/5/2021
Ngày duyệt đăng:	26/5/2021