



## APPLICATION OF SHIPGROUND PROGRAM IN DETERMINING SAFE SPEED LIMITS FOR VESSELS AT RISK OF INTERACTION WITH CHANNEL BED

Pham Trung Hiep

Military Ship Design Institute, No 6 Y Lan Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 29/01/2026

Revised: 10/06/2026

Accepted: 12/06/2026

Published online: 15/06/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.5.2>

\* *Corresponding author*

Email: phiepast07@gmail.com; Tel: 0966 935 893

**Abstract:** Ship grounding occurs when a vessel's hull makes direct contact with the seabed, compromising structural integrity and operational capability, and potentially resulting in casualties and substantial economic losses. The risk is particularly acute in shallow-water regions and confined navigation channels, where limited manoeuvring space and adverse hydrodynamic conditions make speed control one of the most effective preventive measures. To address this safety challenge, the SHIPGROUND program was developed in accordance with the Russian Maritime Register of Shipping's methodology for vessels holding NAABSA notation. The program enables systematic computation of key grounding interaction parameters, including seabed reaction forces, trim angles, stopping distances, and contact duration. Through systematic computational analysis, governing correlations among these parameters were established, from which practical formulae and speed-limit charts were derived for a range of operational scenarios. The resulting speed envelopes provide ship masters with clear, quantitative decision-support tools for navigating shallow or restricted waters, thereby contributing to enhanced maritime safety through the reduction of grounding risk.

**Keywords:** safe speed limit, ship hull-channel bed interaction, SHIPGROUND program, Froude number, interaction reaction force, maritime safety



## ỨNG DỤNG PHẦN MỀM SHIPGROUND TRONG XÁC ĐỊNH GIỚI HẠN TỐC ĐỘ AN TOÀN CHO TÀU THỦY TRONG CÁC TRƯỜNG HỢP CÓ NGUY CƠ XẢY RA TƯƠNG TÁC VỚI NỀN ĐÁY LUỒNG

**Phạm Trung Hiệp**

Viện Thiết kế tàu quân sự, Số 6 Ý Lan, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 29/01/2026

Ngày nhận bài sửa: 10/06/2026

Ngày chấp nhận đăng: 12/06/2026

Ngày xuất bản Online: 15/06/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.5.2>

\* Tác giả liên hệ

Email: phiepast07@gmail.com; Tel: +84966 935 893

**Tóm tắt.** Mắc cạn tàu biển là sự cố kỹ thuật nghiêm trọng khi thân tàu tiếp xúc trực tiếp với đáy biển trong điều kiện bất lợi, đe dọa an toàn kết cấu, khả năng vận hành và có thể gây tổn thất về người và kinh tế. Trong điều kiện vùng nước nông và luồng hàng hải hạn chế, việc kiểm soát tốc độ tàu được xem là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm giảm thiểu rủi ro tai nạn. Phần mềm SHIPGROUND được phát triển trên cơ sở phương pháp luận của Đăng kiểm tàu Biển Liên Bang Nga đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA. Phần mềm cho phép xác định các tham số đặc trưng của quá trình tương tác như phản lực nền đáy, góc chúi của tàu, quãng đường hãm và thời gian tương tác. Thông qua các kết quả tính toán, nghiên cứu đã thiết lập các quy luật và xây dựng công thức, các biểu đồ giới hạn tốc độ. Các công thức và biểu đồ giới hạn tốc độ đề xuất cung cấp công cụ hỗ trợ thuyền trưởng trong quá trình khai thác, góp phần nâng cao mức độ an toàn hàng hải và giảm thiểu nguy cơ xảy ra sự cố mắc cạn.

**Từ khóa:** giới hạn tốc độ an toàn, tương tác đáy tàu-nền đáy luồng, phần mềm SHIPGROUND, số Froude, phản lực tương tác, an toàn hàng hải

@ 2026 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mắc cạn tàu biển là sự cố kỹ thuật nghiêm trọng xảy ra khi thân tàu tiếp xúc trực tiếp không kiểm soát với đáy biển, đe dọa an toàn kết cấu, khả năng vận hành và có thể gây thiệt hại lớn về người cũng như kinh tế. Thực tiễn cho thấy, trong tình trạng mắc cạn kéo dài, kết cấu thân tàu không chỉ chịu tải trọng từ nền đáy mà còn chịu tác động phức tạp của sóng, thủy triều và sự phân bố lại lực nổi dọc thân. Sự kết hợp các yếu tố này gây ra trạng thái ứng suất – biến dạng bất lợi, có thể dẫn đến hư hỏng cục bộ hoặc phá hủy toàn bộ kết cấu. Hình 1 minh họa trường hợp tàu chở hàng Hoàng Gia 46 sau 7 ngày mắc cạn và chịu tác động liên tục của sóng lớn. Kết cấu thân tàu đã bị gãy, tiềm ẩn nguy cơ tràn dầu nghiêm trọng khi trên tàu vẫn còn khoảng 8.000 lít dầu các loại tại thời điểm xảy ra sự cố [1].



Hình 1. Tàu Hoàng Gia 46 bị gãy thân tàu khi mắc cạn tại vùng biển Quảng Ngãi [1].

Việc giảm thiểu rủi ro do tương tác giữa đáy tàu và nền đáy thường được thực hiện thông qua các biện pháp kiểm soát: tốc độ tàu trong vùng nước nông; khoảng cách an toàn giữa tàu và nền đáy; các yếu tố tải trọng và đánh giá điều kiện môi trường. Tuy nhiên, các biện pháp này chủ yếu mang tính định tính hoặc dựa trên kinh nghiệm. Cơ sở đánh giá định lượng mối quan hệ giữa các tham số khai thác, điều kiện môi trường và trạng thái chịu lực của kết cấu tàu trong điều kiện mắc cạn vẫn còn hạn chế.

Các nghiên cứu quốc tế về phản lực và cơ chế phá hủy kết cấu trong sự cố mắc cạn tàu biển đã xây dựng những nền tảng lý thuyết quan trọng. Minorsky V.U. đã đề xuất mô hình tiếp cận dựa trên cân bằng năng lượng để đánh giá mức độ phá hủy kết cấu khi tàu va chạm và mắc cạn [2]. Simonsen B.C. đã phát triển mô hình xác định lực tương tác ngang giữa đáy tàu và chướng ngại vật dạng đá nón với độ sai lệch nhỏ so với kết quả thực nghiệm [3]. Pedersen P.T. đã tập trung phân tích sức chịu uốn dọc của thân tàu sau sự cố mắc cạn, làm rõ ảnh hưởng của hư hỏng cục bộ đến độ bền tổng thể của kết cấu thân tàu [4]. Bên cạnh các mô hình lý thuyết, nhiều chương trình thực nghiệm quy mô đã được triển khai nhằm kiểm chứng các kết quả phân tích. Các thí nghiệm do Hansen N.E.O., Simonsen B.C. và Sterndorff M.J. thực hiện đã cung cấp cơ sở thực nghiệm quan trọng cho việc đánh giá phản lực và cơ chế phá hủy khi tàu tương tác với nền đáy [5]. Ngoài ra, Kuroiwa đã phân biệt rõ đặc trưng tải trọng trong các trường hợp va chạm trượt (*raking*) và mắc cạn (*stranding*), qua đó làm rõ sự khác biệt về cơ chế chịu lực và dạng phá hủy kết cấu thân tàu trong các kịch bản mắc cạn khác nhau [6].

Trong những năm gần đây, vấn đề tương tác giữa tàu và nền đáy đã thu hút sự quan tâm

hơn của các tổ chức Đăng kiểm và giới nghiên cứu quốc tế, đặc biệt trong trường hợp tương tác có kiểm soát phục vụ hoạt động vận tải tại các khu vực bờ biển thiếu hạ tầng cầu cảng. Quy phạm Đăng kiểm Na Uy (DNV) áp dụng ký hiệu NAABSA (Not Always Afloat But Safely Aground) đối với loại tàu chuyên dụng có khả năng ngồi cạn, yêu cầu tăng mức độ an toàn khi thực hiện bốc xếp hàng hóa tại cảng chuyên dụng [7]. Từ năm 2017, Quy phạm Đăng kiểm tàu biển Liên Bang Nga (RMRS) cũng áp dụng ký hiệu này với ba cấp độ phân loại: NAABSA 1, 2 và 3, quy định các điều kiện đặc thù cho tàu có khả năng ngồi cạn và khai thác tại vùng bờ biển không có cầu cảng [8]. Quy phạm Đăng kiểm tàu biển Việt Nam (VR) hiện chưa có yêu cầu kỹ thuật riêng cho trường hợp này [9]. Nghiên cứu của Azovtsev A.I., Kulesh V.A. và cộng sự [10] đề xuất các thay đổi trong Quy phạm RMRS về thiết kế và cường độ kết cấu tàu chuyên dụng này, tập trung vào ba khía cạnh chính: tính toán tải trọng lên đáy tàu, cường độ kết cấu và đảm bảo an toàn khai thác.

Các nghiên cứu trong nước liên quan đến chủ đề nghiên cứu chủ yếu tập trung theo các hướng: tổ chức và phân luồng giao thông hàng hải; phân tích mật độ và dòng giao thông tàu dựa trên dữ liệu AIS; tối ưu hóa hành trình và hiệu quả khai thác; nâng cao độ chính xác định vị và hỗ trợ điều hướng. Trong công trình [11] đã xây dựng hệ thống giải pháp nâng cao an toàn hàng hải vùng biển Việt Nam, trong đó nhấn mạnh vai trò của phân luồng giao thông và điều tiết tàu thuyền theo mật độ. Mặc dù không trực tiếp nghiên cứu tốc độ, công trình đã chỉ ra mối quan hệ giữa mật độ tàu và nguy cơ tai nạn, làm cơ sở cho việc xem xét điều chỉnh tốc độ trong vùng nước hạn chế. Nghiên cứu [12] đã sử dụng các thuật toán phân cụm để xử lý dữ liệu AIS, qua đó nhận diện các khu vực có mật độ tàu cao và nguy cơ va chạm lớn. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy trong các vùng có mật độ giao thông lớn, tốc độ tàu thường có xu hướng giảm và chịu ảnh hưởng mạnh bởi tương tác giữa các tàu, tạo cơ sở quan trọng cho việc nghiên cứu cơ chế kiểm soát tốc độ theo điều kiện giao thông. Nghiên cứu [13] mô phỏng và tối ưu hóa tuyến hàng hải trong khu vực luồng Hải Phòng đã xây dựng mối quan hệ giữa tốc độ tàu, lực cản và tiêu hao nhiên liệu, đồng thời áp dụng các thuật toán tối ưu đa mục tiêu nhằm xác định chế độ vận hành hợp lý. Mặc dù mục tiêu chính của các nghiên cứu trên là nâng cao hiệu quả khai thác an toàn tàu, tuy nhiên kết quả này cũng chỉ ra rằng việc lựa chọn tốc độ phù hợp có ý nghĩa quyết định đối với cả an toàn và hiệu quả kinh tế trong điều kiện luồng hạn chế. Nhìn tổng thể, các nghiên cứu hiện có mới chỉ tiếp cận kiểm soát tốc độ một cách gián tiếp và phân tán theo từng khía cạnh riêng lẻ, chưa hình thành được phương pháp luận thống nhất cho bài toán kiểm soát tốc độ tàu.

Xuất phát từ khoảng trống đó, bài báo này đề xuất hướng tiếp cận bài toán kiểm soát tốc độ tàu trên cơ sở phương pháp luận của RMRS đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH GIỚI HẠN TỐC ĐỘ AN TOÀN

Trên cơ sở phân tích tổng quan các nghiên cứu đã công bố, có thể nhận thấy rằng việc xác định giới hạn tốc độ an toàn cho tàu trong điều kiện có nguy cơ tương tác với nền đáy luồng có thể được tiếp cận theo nhiều phương pháp khác nhau với những ưu điểm và hạn chế riêng. Công thức (1) trong tài liệu [3] dùng để xác định phản lực tương tác va chạm  $F$  (MN) được xây dựng dựa trên dữ liệu thống kê các sự cố va chạm tàu biển, chủ yếu áp dụng cho kích bản tai nạn của tàu kích thước lớn và tốc độ di chuyển cao. Tuy nhiên, công thức này tồn tại một số hạn chế: hệ đơn vị không tuân theo chuẩn SI gây khó khăn cho việc áp dụng trong các mô hình hiện đại; việc sử dụng thành phần vận tốc thẳng đứng (biến đổi liên tục) dẫn đến sự phức tạp khi giải bài toán chuyển động và đánh giá phản lực theo thời gian; thiếu các tham số về nền đáy, hình dạng thân tàu và thời gian tác động.

$$F = \frac{0,98 \cdot m^{0,5} \cdot v}{8,22}, \text{ MN} \quad (1)$$

Trong đó,  $m$  – khối lượng tàu, tấn;  $v$  – vận tốc theo phương thẳng đứng, m/s.

Công thức (2) trong công trình [14] của tác giả được phát triển để áp dụng trong các tình huống tàu di chuyển tịnh tiến với vận tốc nhỏ và chủ yếu dành cho loại tàu cỡ nhỏ. Công thức này có cấu trúc đơn giản, dựa trên giả định rằng toàn bộ động năng của tàu được chuyển hóa thành thế năng trong quá trình tiếp xúc với nền đáy. Tuy nhiên, giả định này chưa phản ánh đầy đủ bản chất của các kịch bản tai nạn thực tế. Trong va chạm mắc cạn, ngoài việc chuyển hóa thành thế năng, năng lượng còn bị tiêu hao đáng kể do các cơ chế ma sát, đâm xuyên và biến dạng nền đáy. Do đó, khi áp dụng công thức này đối với các trường hợp tàu di chuyển với vận tốc lớn, phản lực tương tác thường bị đánh giá cao hơn đáng kể so với thực tế.

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

Trong đó,  $R_{0N}$  – phản lực tương tác, tấn;  $\mu$  – hệ số khối lượng nước kèm;  $\Delta_N$  – lượng giãn nước của tàu, tấn;  $v_N$  – vận tốc di chuyển của tàu trước va chạm, m/s;  $d_N$  – mớn nước tàu, m;  $g$  – gia tốc trọng trường, m/s<sup>2</sup>.

Hình 2. Giao diện phần mềm SHIPGROUND.

Phần mềm SHIPGROUND (Hình 2) được tác giả phát triển trên cơ sở phương pháp luận của RMRS đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA [14]. Bài toán tương tác giữa tàu và nền đáy giải quyết dựa trên việc phân tích phương trình bảo toàn năng lượng theo thời gian trong công thức (3).

$$\frac{m \cdot (1 + \mu) \cdot v_N^2}{2} = \Delta_N \cdot \Delta d + E_T + E_C + \dots \quad (3)$$

Trong đó,  $\mu$  – hệ số khối lượng nước kèm;  $\Delta_N \cdot \Delta d$  – thế năng của tàu chuyển động theo

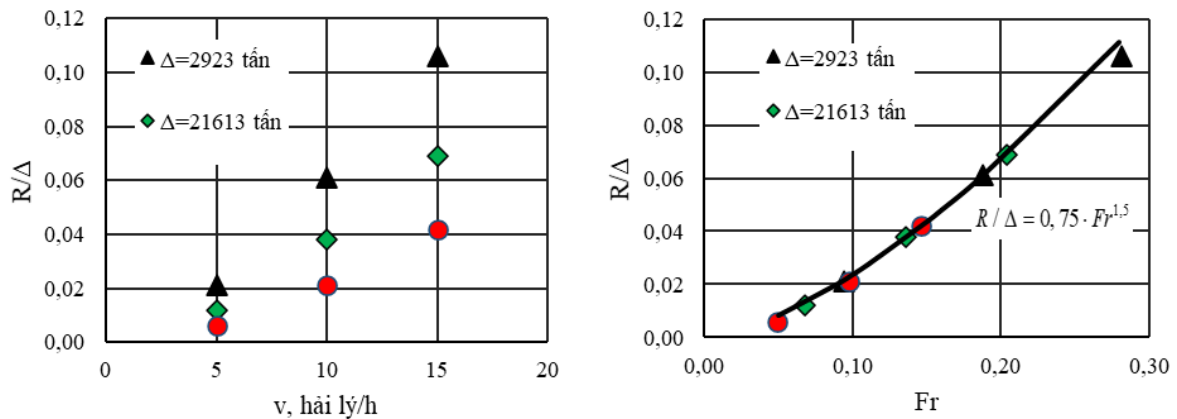
phương thẳng đứng,  $N \times m$ ;  $E_r$  – năng lượng tiêu hao do ma sát,  $N \times m$ ;  $E_c$  – năng lượng ép lún bùn đất và những tiêu hao năng lượng khác,  $N \times m$ , ví dụ như, năng lượng làm biến dạng thân tàu, năng lượng làm dịch chuyển bùn đất, những tiêu hao năng lượng này rất nhỏ và có thể bỏ qua trong quá trình tính toán.

Phần mềm SHIPGROUND yêu cầu một số dữ liệu đầu vào liên quan đến đặc tính cơ lý của nền đáy là các tham số ngẫu nhiên, biến động lớn và khó xác định chính xác trong các tình huống tai nạn thực tế. Tuy nhiên, kết quả tính toán có hệ thống đối với nhiều tàu và các kích bản khác nhau cho thấy một xu hướng đồng nhất. Khi sử dụng các tham số vô thứ nguyên để chuẩn hóa phản lực, các giá trị thu được tương đối gần nhau giữa các trường hợp.

Hình 3 minh họa nhận định này, trong đó phản lực tại mũi tàu được chuẩn hóa theo lượng giãn nước lớn nhất và biểu diễn theo vận tốc (hải lý/giờ) ở hình 3a và theo số Froude ở Hình 3b. Thông số các tàu được sử dụng để tính toán được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của một số tàu sử dụng để tính toán.

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Tàu số 1	Tàu số 2	Tàu số 3
Chiều dài	L	m	76,6	145,8	283,0
Chiều rộng	B	m	12,2	21,9	40,2
Chiều chìm	T	m	4,1	8,4	17,6
Lượng giãn nước lớn nhất	$\Delta$	tấn	2923	21613	170148



Hình 3. Sự phụ thuộc của phản lực mũi vào vận tốc (a) và số Froude (b).

Trong tất cả các trường hợp, tham số nền đáy được giả định đồng nhất và ở mức trung bình để tăng tính khách quan khi thực hiện so sánh. Kết quả so sánh cho thấy phản lực tương đối giảm rõ rệt khi kích thước tàu tăng (Hình 3a). Tuy nhiên, khi biểu diễn theo hàm của số Froude (Hình 3b), các giá trị này nằm trên cùng một đường phụ thuộc. Từ đó, biểu thức tổng quát về mối quan hệ giữa các tham số đặc trưng được xác lập như sau:

$$R / \Delta = 0,75 \cdot Fr^{1,5} \tag{4}$$

$$R = 0,75 \cdot \Delta \cdot Fr^{1,5}, \quad (5)$$

Trong đó:  $R$  – phản lực mũi, tấn;  $\Delta$  - lượng giãn nước của tàu, tấn;  $Fr$  – hệ số Froud,  $Fr = v / (gL)^{0,5}$ .

Công thức (4) cho phép ước lượng phản lực tương tác với nền đáy theo lượng giãn nước và tốc độ di chuyển. Trên cơ sở đó, trong các tình huống có nguy cơ tiếp xúc với nền đáy, công thức (4) có thể được sử dụng để xác định giới hạn tốc độ an toàn, nhằm hạn chế phản lực tiếp xúc và giảm thiểu nguy cơ hư hỏng kết cấu thân tàu.

Ở giai đoạn tiếp theo, nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng biểu đồ giới hạn tốc độ chuyển động sử dụng các tiêu chuẩn giới hạn dự trữ độ bền dọc thân tàu trong Quy phạm RMRS [15]. Các giới hạn này được xác lập dựa trên điều kiện sóng biển và các giá trị mô men uốn dọc thân tàu. Khi tàu hoạt động trong điều kiện biển lặng hoặc sóng yếu, tải trọng mô men uốn sóng tác dụng lên thân tàu là không đáng kể. Do đó, phần dự trữ cường độ dọc thân vốn được thiết kế để chịu tải trọng này có thể được tái phân bổ nhằm chống lại tải trọng phát sinh từ tương tác với nền đáy. Giả định rằng, ứng suất uốn tại tiết diện giữa tàu không được vượt quá giới hạn cho phép khi có tương tác với nền đáy biển, ta có thể xác định giá trị giới hạn của phản lực tương tác. Nếu tàu hoạt động trong điều kiện sóng gió cực hạn theo thiết kế, thì dự trữ độ bền cho tình huống tương tác với đáy biển sẽ là tối thiểu và tương ứng với mức của mô men uốn va đập. Xét theo các điều kiện giới hạn phản lực tương tác đã nêu:

Khi tàu di chuyển trong điều kiện biển lặng:

$$R \leq 2 \cdot |M_B + M_Y| / (gL) \quad (6)$$

Khi tàu di chuyển trong điều kiện sóng gió cực hạn:

$$R \leq 2 \cdot |M_Y| / (gL) \quad (7)$$

Trong đó,  $M_B$  – momen uốn dọc tàu do sóng tại mặt cắt ngang giữa thân tàu

$$M_B = -110c_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}, \text{ kNm} \quad (8)$$

$M_Y$  – momen uốn do sóng và đập tại mặt cắt ngang giữa thân tàu

$$M_Y = -23c_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}, \text{ kNm} \quad (9)$$

$L$  – chiều dài tính toán của tàu, m;  $B$  – chiều rộng tàu, m;  $C_b$  – hệ số béo tổng thể của thân tàu;  $C_w$  – hệ số sóng.

Từ các biểu thức (5), (6), (7) có thể xác định được các giới hạn về tốc độ chuyển động của tàu ứng với các trạng thái tải trọng khác nhau.

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

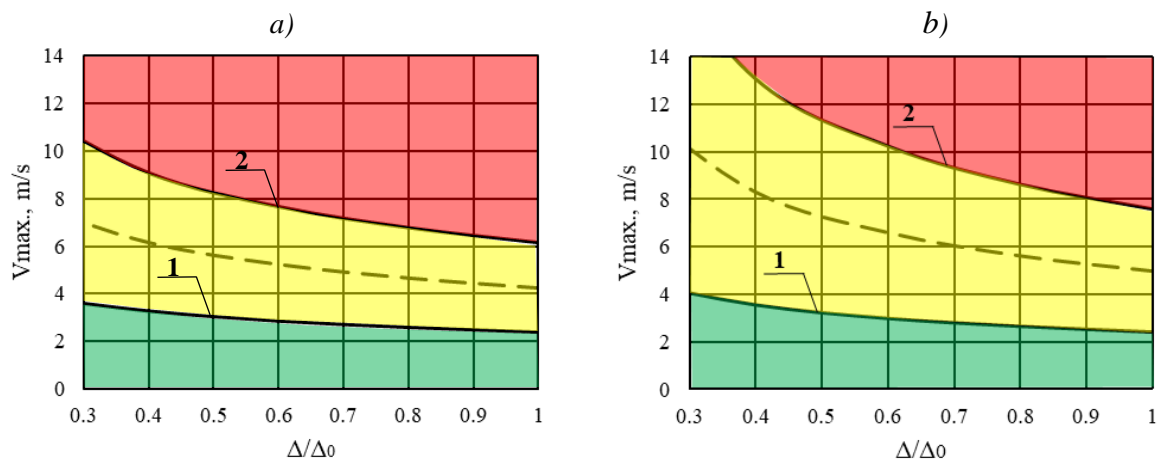
Kết quả tính toán về giới hạn tốc độ di chuyển của các tàu mẫu (thông số trong Bảng 2) được trình bày trong Hình 4. Các tàu mẫu được chọn đại diện cho hai phân khúc tàu chở hàng điển hình: tàu chở hàng cỡ lớn và tàu cỡ trung. Ngoài ra, sự chênh lệch lớn về lượng giãn nước giữa hai tàu cho phép kiểm chứng tính tổng quát của công thức đề xuất và minh họa rõ ảnh hưởng của kích thước tàu đến giới hạn tốc độ an toàn.

Các thông số quá trình tương tác giữa tàu và nền đáy được xác định bằng phần mềm SHIPGROUND với các giá trị đầu vào: góc dốc nền đáy là  $9^\circ$ ; hệ số ma sát là 0,6; kháng lực

nền đáy là 300 kN/m<sup>2</sup> và góc vát thiết kế đáy tàu ở mũi là 10°.

Bảng 2. Thông số của một số tàu sử dụng để tính toán.

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Tàu số 4	Tàu số 5
Chiều dài	L	m	274	134,2
Chiều rộng	B	m	47	17
Chiều chìm	T	m	15,96	4,09
Lượng giãn nước	$\Delta$	t	176964	8024
Hệ số béo	$\delta$	-	0,84	0,82



Hình 4. Giới hạn vận tốc của tàu số 4 (a) và tàu số 5 (b) trong điều kiện có nguy cơ va chạm với nền đáy.

Các biểu đồ giới hạn tốc độ được xây dựng trên hệ trục tọa độ với trục tung là tốc độ lớn nhất cho phép  $V_{max}$  (m/s) và trục hoành là tỷ lệ lượng giãn nước  $\Delta/\Delta_0$ , trong đó ba vùng màu phản ánh ba mức độ an toàn khác nhau: vùng xanh lá (an toàn), vùng vàng (cần thận trọng) và vùng đỏ (nguy hiểm, không được phép). Đường nét liền số 1 và số 2 lần lượt là giới hạn tốc độ trong điều kiện sóng gió cực hạn và điều kiện biển lặng; đường nét đứt thể hiện giới hạn ước lượng trong điều kiện sóng gió trung gian.

Kết quả phân tích cho thấy :

- Ở cả hai biểu đồ, các đường giới hạn tốc độ đều có xu hướng giảm đơn điệu khi tỷ lệ  $\Delta/\Delta_0$  tăng từ 0,3 đến 1,0. Điều này khẳng định rằng tàu càng chở nặng thì giới hạn tốc độ an toàn càng thấp. Cụ thể, ví dụ đối với tàu số 4, khi tàu đầy tải ( $\Delta/\Delta_0=1,0$ ), giới hạn tốc độ trong điều kiện biển lặng (đường 2) giảm xuống còn khoảng 6 m/s, trong khi ở trạng thái tải nhẹ ( $\Delta/\Delta_0=0,3$ ) có thể cho phép tốc độ lên đến hơn 10 m/s. Xu hướng này xảy ra tương tự đối với giới hạn tốc độ trong điều kiện sóng cực hạn và đối với trường hợp tàu số 5.

- Khoảng cách giữa đường 1 (sóng cực hạn) và đường 2 (biển lặng) thể hiện mức độ thu hẹp của dải tốc độ an toàn khi điều kiện thời tiết xấu đi. Trong điều kiện sóng gió cực hạn, đường giới hạn số 1 nằm rất thấp, dao động trong khoảng 2–4 m/s (4–8 hải lý/giờ) với mọi mức tải và mọi tàu, cho thấy điều kiện sóng gió là yếu tố ràng buộc khắt khe nhất đối với tốc độ khai thác an toàn.

- Ở cùng tỷ lệ tải trọng, các đường giới hạn đối với trường hợp tàu số 5 ( $\Delta_0=8024$  tấn) (xem Hình 4b) nằm cao hơn so với tàu số 5 ( $\Delta_0=176964$  tấn) (xem Hình 4a). Điều này phản ánh rõ ràng rằng, tàu nhỏ hơn có dải tốc độ an toàn rộng hơn, đặc biệt ở trạng thái tải một phần – phù hợp với quy luật vật lý khi lượng giãn nước nhỏ hơn đồng nghĩa với động năng tương tác thấp hơn ở cùng tốc độ.

- Ba vùng màu trên biểu đồ cung cấp công cụ tra cứu trực quan cho thuyền trưởng: vùng xanh lá tương ứng với chế độ khai thác an toàn ngay cả khi có nguy cơ cao tiếp xúc với nền đáy; vùng vàng là vùng cần thận trọng - tốc độ này có thể gây phản lực tương tác đáng kể nhưng chưa đến mức gây phá hủy kết cấu; vùng đỏ là vùng tuyệt đối không được phép hoạt động khi có nguy cơ chạm đáy vì phản lực tương tác vượt ngưỡng an toàn kết cấu.

- Đường nét đứt nằm giữa đường 1 và đường 2 trên cả hai biểu đồ, phản ánh xu hướng giới hạn tốc độ trong điều kiện sóng vừa phải. Đây là đường mang tính chất tham khảo ước lượng và việc xác định chính xác giá trị này đòi hỏi các tính toán bổ sung về tương quan giữa lắc tàu và trạng thái sóng.

Các biểu đồ giới hạn tốc độ được đề xuất trong nghiên cứu này có thể được sử dụng trực tiếp như công cụ hỗ trợ quyết định cho thuyền trưởng trong quá trình khai thác tàu tại vùng nước nông và luồng hàng hải hạn chế. Quy trình tra cứu và áp dụng được khuyến cáo như sau:

- Trước khi sử dụng, thuyền trưởng cần nắm rõ cách đọc biểu đồ (tham khảo phần chú thích dưới biểu đồ);

- Bước 1 – Xác định tỷ lệ tải trọng hiện tại: Trước khi vào vùng nước nông hoặc luồng hạn chế, thuyền trưởng tính toán tỷ lệ  $\Delta/\Delta_0$  dựa trên bảng tính ổn định và bảng kiểm tra món nước thực tế.

- Bước 2 – Đánh giá điều kiện thời tiết và sóng: Xác định tình trạng sóng biển tại khu vực luồng để áp dụng các đường giới hạn vận tốc: Biển lặng đến sóng nhẹ dưới cấp 2: áp dụng đường số 2; Sóng vừa phải (cấp 3–4): áp dụng đường nét đứt và giảm thêm 10–15% so với giá trị đọc được; Sóng to đến rất to (cấp 5 trở lên): áp dụng đường số 1 - đây là ràng buộc khắt khe nhất.

- Bước 3 – Tra biểu đồ và xác định tốc độ giới hạn: Từ giá trị  $\Delta/\Delta_0$  xác định ở Bước 1, kẻ đường thẳng đứng lên biểu đồ và xác định giao điểm với đường giới hạn tương ứng ở Bước 2. Giá trị  $V_{max}$  đọc được trên trục tung chính là tốc độ lớn nhất cho phép trong tình huống đó.

- Bước 4 – Áp dụng hệ số an toàn thực tế: Trong thực tiễn điều động, thuyền trưởng nên đặt tốc độ khai thác thực tế thấp hơn 10–20% so với giá trị  $V_{max}$  đọc từ biểu đồ, nhằm tạo biên độ dự phòng cho các yếu tố không chắc chắn như: độ chính xác của số liệu nền đáy, sai số đo món nước, dao động thủy triều ngắn hạn và phản ứng chậm của hệ thống điều khiển tàu.

Cần lưu ý rằng, biểu đồ giới hạn tốc độ cần được sử dụng song song với theo dõi khoảng hở an toàn dưới đáy tàu (UKC) thực tế - đây là nguyên tắc bắt buộc trong khai thác tàu ở vùng nước hạn chế. Do biểu đồ được xây dựng dựa trên các tham số nền đáy trung bình (bùn đất mềm đến trung bình), vậy nên trong trường hợp nền đáy là đá cứng hoặc san hô, phản lực tương tác sẽ lớn hơn đáng kể so với dự báo của biểu đồ, thuyền trưởng cần giảm tốc độ xuống vùng xanh lá và duy trì UKC tối thiểu lớn hơn so với điều kiện thông thường.

Biểu đồ giới hạn tốc độ được xây dựng dựa trên tiêu chí độ bền dọc thân tàu tổng thể, do đó chưa phản ánh đầy đủ ứng xử của kết cấu cục bộ tôn đáy tại vùng mũi trong quá trình tiếp xúc với nền đáy. Trong thực tế, khi xảy ra tương tác, kết cấu đáy mũi tàu có thể chịu biến

dạng cục bộ hoặc hư hỏng cục bộ trước khi phản lực đạt đến ngưỡng gây nguy hiểm cho độ bền dọc toàn thân. Về mặt cơ học, các hư hỏng cục bộ này đóng vai trò như cơ chế hấp thụ năng lượng tự nhiên, làm giảm độ nâng mũi tàu và phản lực đỉnh tương tác, qua đó thực tế có thể làm giảm nguy cơ gãy phá toàn bộ thân tàu so với dự báo của mô hình.

Vì vậy, biểu đồ đề xuất nên được sử dụng như công cụ hỗ trợ quyết định mang tính thận trọng, kết hợp với đánh giá thực tế của thuyền trưởng, chứ không thay thế hoàn toàn cho công tác kiểm tra kết cấu và đánh giá an toàn toàn diện. Việc mô phỏng hư hỏng cục bộ kết cấu đáy mũi tàu trong quá trình tương tác được xác định là hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện hơn nữa độ chính xác và phạm vi áp dụng của mô hình.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phát triển và ứng dụng phần mềm SHIPGROUND để xác định giới hạn tốc độ an toàn cho tàu hoạt động trong vùng nước nông và luồng hàng hải hạn chế, nơi tiềm ẩn nguy cơ tương tác giữa đáy tàu và nền đáy luồng dựa trên cơ sở phương pháp luận của RMRS đối với tàu chuyên dụng mang ký hiệu NAABSA. Thông qua tính toán hệ thống bằng phần mềm SHIPGROUND cho nhiều tàu với dải lượng giãn nước khác nhau, nghiên cứu đã xác lập được quy luật: phản lực tương tác giữa tàu và nền đáy phụ thuộc vào tốc độ di chuyển và khi được biểu diễn theo số Froude, quan hệ này tuân theo một đường phụ thuộc thống nhất cho mọi lớp tàu, không phụ thuộc vào kích thước tàu. Từ quy luật này đã được thiết lập công thức tổng quát (4), (5) biểu diễn phản lực tương tác theo lượng giãn nước và số Froude. Kết hợp với tiêu chuẩn độ bền dọc thân tàu theo Quy phạm RMRS, nghiên cứu đã xây dựng biểu đồ giới hạn tốc độ an toàn cho hai kịch bản khai thác: điều kiện biển lặng và điều kiện sóng gió cực hạn, trong đó lượng giãn nước được xác định là yếu tố chi phối chủ đạo đến giới hạn tốc độ an toàn. Quy trình tra cứu và khuyến cáo sử dụng biểu đồ đã được đề xuất, trong đó thuyền trưởng căn cứ vào tỷ lệ tải trọng hiện tại và dự báo điều kiện sóng để xác định dải tốc độ cho phép, đồng thời kết hợp theo dõi UKC thực tế trong suốt hành trình qua vùng nguy hiểm.

#### LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin trân thành cảm ơn GS.TSKH. Kulesh Victor Annatolevich, giảng viên Khoa Kỹ thuật và Vận tải Hàng hải, Đại học Liên bang Viễn Đông, Liên Bang Nga vì những định hướng khoa học quý báu và sự hỗ trợ tận tình trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu và hoàn thiện bài báo này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tàu chở hàng Hoàng Gia 46 mắc cạn. <https://dantri.com.vn/xa-hoi/song-be-gay-than-tau-trong-tai-3000-tan-20230201141656404.htm>, truy cập ngày 27 tháng 01 năm 2026
- [2]. V.U. Minorsky, An Analysis of ship collision with reference to protection of nuclear power ships, Journal of Ship Research, 2 (1959) 1-4.
- [3]. B.C. Simonsen, Mechanics of Ship Grounding, PhD. thesis, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, 1997.
- [4]. P.T. Pedersen, Ship grounding and hull girder strength, Marine Structures, 7(1994) 1-29.
- [5]. N.E.O. Hansen, Simonsen B.C., Sterndorff M.J., Soil mechanics of ship beaching, Coastal Engg, chapter 218, 1994, pp. 3030-3044.
- [6]. T. Kuroiwa., Number simulation of actual collision and grounding accident, In Int. Conference on

design and methodologies for Collision and Grounding Protection of ships, San Francisco, 1996, pp. 7.1-7.12.

[7]. DNV Rules for classification: Ships - Part 6 Ch.1. <https://www.dnv.com/rules-standards>, truy cập ngày 27 tháng 01 năm 2026

[8]. Russian Maritime Register of Shipping, Rules for the classification and construction of sea-going ships: Part IV Chapter XVII Beaching craft. <https://rs-class.org>, truy cập ngày 27 tháng 01 năm 2026

[9]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép QCVN 21: 2025/BGTVT, Hanoi, 3104p.

[10]. A.I. Azovtsev, V.I. Evenko, V.A. Kulesh, M.A. Kuteynikov, A.S. Ogay, V.A. Petrov, Proposals for the development of requirements for vessels designed for intentional grounding operations, Scientific and Technical Collection of the Russian Maritime Register of Shipping, 42 (2016) 47–58.

[11]. Phạm Trung Hiệp, V.A. Kulesh, Tính toán các thông số tương tác của tàu với nền đáy luồng trong môi trường bán tĩnh, Tạp chí khoa học công nghệ hàng hải, 67 (2021) 51–55.

[12]. Lưu Việt Hùng, Nghiên cứu giải pháp nâng cao an toàn hàng hải vùng biển Việt Nam, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học hàng hải Việt Nam, 2019.

[13]. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam. Nghiên cứu ứng dụng vùng an toàn của tàu xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải theo dõi thời gian thực trên vùng biển Việt Nam, Tạp chí khoa học công nghệ hàng hải, 77 (01-2024) 7–13.

[14]. Phạm Nguyên Đăng Khoa, Vũ Đăng Thái, Nguyễn Phước Quý Phong, Tính toán mô phỏng và lựa chọn phương án tối ưu tuyến hàng hải luồng hải phòng trong điều khiển tàu biển, Tạp chí khoa học công nghệ hàng hải, 85 (01-2026) 1–6. <https://doi.org/10.65154/jmst.953>

[15]. Russian Maritime Register of Shipping, Rules for the classification and construction of sea-going ships: Part II Hull. <https://rs-class.org/rules>, truy cập ngày 27 tháng 01 năm 2026