

# Xác định hệ số thực nghiệm cho công thức tính toán các loại sóng tàu thuyền trên sông Cần Thơ

Trần Văn Hùng<sup>1</sup>, Bùi Trần Việt Bắc<sup>1,\*</sup>, Đinh Văn Duy<sup>1</sup>, Nguyễn Nhật Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup> Trung tâm Quản lý, khai thác công trình thủy lợi Cà Mau

**TỪ KHOẢ**

MATLAB  
Tàu thuyền  
Mô hình số  
Chiều cao sóng

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định hệ số thực nghiệm cho công thức tính toán sóng tàu thuyền trên sông Cần Thơ bằng bốn mô hình hồi quy phi tuyến trên nền MATLAB. Bản vẽ địa hình đáy sông được thu thập từ hồ sơ khảo sát địa hình từ dự án xây dựng kè sông Cần Thơ và thông số tàu được cung cấp từ Cảng vụ hàng hải Cần Thơ. Số liệu sóng tàu được đo đạc bằng thiết bị ADCP Sentinel-V20. Kết quả cho thấy chiều cao sóng tàu cao nhất trên sông Cần Thơ phụ thuộc rất lớn vào độ co hẹp dòng, với hệ số co hẹp ( $\delta$ ) bằng 61,764. Đồng thời, các trị số đánh giá độ tin cậy mô hình cũng chỉ ra rằng mô hình hồi quy phi tuyến với hai tham số: hệ số năng lượng nền ( $\alpha$ ) và hệ số co hẹp ( $\delta$ ) có độ tin cậy tương đối cao trong việc tính toán chiều cao sóng tàu cao nhất ( $H_{max}$ ) trên sông Cần Thơ.

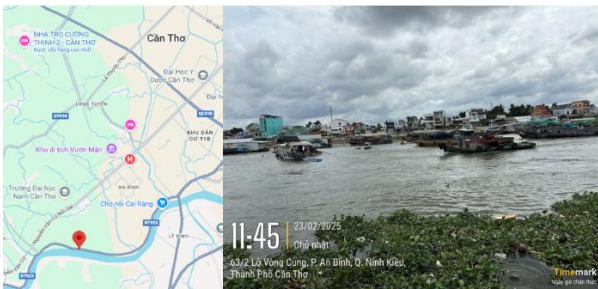
**KEYWORDS**

MATLAB  
Vessel  
Numerical model  
Wave height

**ABSTRACT**

This study determines empirical coefficients for boat-generated waves on the Can Tho River using four MATLAB-based nonlinear regression models. Bathymetry and vessel data were collected from local authorities, while wave data were measured using an ADCP Sentinel-V20. Results indicate that maximum wave height depends significantly on the blockage effect ( $\delta = 61.764$ ). Reliability metrics confirm that the two-parameter model, incorporating background energy ( $\alpha$ ) and blockage ( $\delta$ ), is highly effective for predicting  $H_{max}$ .

**1. Mở đầu**

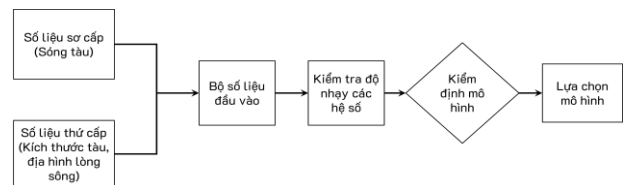


Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Sông Cần Thơ – một nhánh quan trọng của hệ thống sông Hậu – đóng vai trò chiến lược trong phát triển kinh tế - xã hội, giao thông thủy và sinh kế cư dân vùng đô thị trung tâm của ĐBSCL. Với vai trò là tuyến giao thông thủy huyết mạch, đồng thời là không gian cảnh quan – sinh thái quan trọng của đô thị Cần Thơ. Sông Cần Thơ nằm dọc theo hai quận Ninh Kiều và quận Cái Răng có chiều dài khoảng 30km, rộng 300-600 m sông đi qua khu vực Chợ nổi Cái Răng nên lượng tàu thuyền neo đậu, di chuyển qua lại liên tục để giao thương hàng hóa là rất đông đúc. Các công trình nghiên cứu trước đó đó nhuq của Toàn và ctv (2025) [1] chỉ ra rằng, ảnh hưởng của sóng tàu là một trong các nguyên

nhân gây sạt lở bờ sông tại các đoạn sông không có công trình bảo vệ bờ. Tuy nhiên ở Việt Nam yếu tố này lại bị xem nhẹ trong đánh giá và thiết kế công trình bảo vệ bờ và chưa có một nghiên cứu cụ thể nào để xác định chiều cao Sóng Tàu ở những kênh vận tải có mật độ lưu thông tàu bè (đặc biệt là Ghe tải) lớn như sông Cần Thơ. Do đó, việc xác định công thức tính toán chiều cao sóng tàu cao nhất trên sông Cần Thơ là rất quan trọng.

**2. Phương pháp nghiên cứu**



Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu.

Các bước nghiên cứu được tiến hành như trong sơ đồ trên Hình 2. Đầu tiên, các số liệu sơ cấp và thứ cấp sẽ được thu thập. Sau khi thu thập, các số liệu địa hình đáy, thông số tàu và chiều cao sóng tàu thực đo tương ứng được thống kê và sắp xếp thành một bảng số liệu đồng nhất. Dựa trên công thức tính toán chiều cao sóng tàu cao nhất

\*Liên hệ tác giả: zietbuk2k3@gmail.com

Nhận ngày 05/03/2026, sửa xong ngày 16/03/2026, chấp nhận đăng ngày 17/03/2026

Link DOI: <https://ojs.jomc.vn/index.php/vn/article/view/1265>

Công binh Lục quân Hoa Kỳ (USACE) thiết lập các mô hình hồi quy phi tuyến trên nền MATLAB.

2.1. Thu thập số liệu thứ cấp

Các số liệu thứ cấp về mực nước, địa hình lòng dẫn được thu thập từ Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng sử dụng nguồn vốn hỗ trợ phát triển chính thức thành phố Cần Thơ. Số liệu về kích thước, thông số tàu được thu thập từ Cảng vụ hàng hải Cần Thơ được thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Số liệu thứ cấp.

STT	Số liệu	Nguồn	Thời gian
1	Địa hình, địa chất	Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng sử dụng nguồn vốn hỗ trợ phát triển chính thức Thành phố Cần Thơ	2020
2	Kích thước các phương tiện thủy	Cảng vụ Hàng hải Cần Thơ	2025

2.2. Thu thập số liệu sơ cấp

Số liệu sóng tàu được đo đạc trực tiếp tại KVNC bằng thiết bị ADCP Sentinel-V20 (Acoustic Doppler Current Profile). Thiết bị này hoạt động dựa trên hiệu ứng Doppler âm thanh, cho phép đo đạc đồng thời biên dạng vận tốc dòng chảy theo độ sâu (profiling) và các thông số sóng chi tiết với độ chính xác cao. Với dải tần số 2MHz, Sentinel\_V20 sử dụng hệ thống đầu dò phát xung âm thanh để đo vận tốc dòng chảy thông qua sự dịch chuyển tần số của tín hiệu phản xạ từ các hạt lơ lửng trong nước.



**Hình 3.** Lắp đặt ADCP Sentinel-V20 vào hệ khung.

2.3. Xây dựng mô hình hồi quy phi tuyến MATLAB

2.3.1. Phương pháp hồi quy phi tuyến

Hồi quy phi tuyến là phương pháp ước lượng tham số mà mô hình  $Y = f(X, \theta)$  không nhất thiết phải là tổ hợp tuyến tính của các tham số  $\theta$ . Khác với phương pháp tuyến tính, hồi quy phi tuyến không yêu

cầu biến đổi dữ liệu đầu vào, mà làm việc trực tiếp trên cấu trúc hàm số gốc.

Bản chất: Mục tiêu của phương pháp là tìm vector tham số  $\theta$  để tối thiểu hóa Tổng bình phương sai số (Sum of Squared Errors - SSE) trong miền thực (miền giá trị gốc của Y):

$$SSE(\theta) = \sum_{j=1}^m (Y_{quansat}^j - f(X^j, \theta))^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

Do hàm  $f(X, \theta)$  có tính chất phi tuyến, hàm mục tiêu  $SSE(\theta)$  thường không lồi và có thể chứa nhiều cực trị địa phương. Do đó, không tồn tại công thức nghiệm giải tích duy nhất. Việc giải bài toán này đòi hỏi các phương pháp giải tích số (Numerical Methods) và các thuật toán lặp (Iterative Algorithms).

2.3.2. Ứng dụng MATLAB

Khả năng Phân tích dữ liệu và Hồi quy Trong khuôn khổ nghiên cứu này, MATLAB được lựa chọn nhờ bộ công cụ Curve Fitting Toolbox và Statistics and Machine Learning Toolbox vượt trội. Phần mềm có khả năng nhập liệu trực tiếp từ các file định dạng chuẩn (CSV, Excel) được trích xuất từ thiết bị đo đạc. Đối với bài toán xác định hệ số thực nghiệm cho công thức sóng tàu, MATLAB hỗ trợ thực hiện các thuật toán hồi quy phi tuyến đa biến (Multivariate Nonlinear Regression) với độ chính xác cao. Người dùng có thể tùy biến các hàm mục tiêu (objective functions), thiết lập các ràng buộc cho biến số và sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu (Least Squares) để tìm ra bộ tham số tối ưu khớp nhất với dữ liệu thực nghiệm.

2.3.3. Công thức tính toàn chiều cao sóng tàu cao nhất

**Bảng 2.** Ý nghĩa các hệ số.

Hệ số	Ý nghĩa
$\alpha$	Hệ số năng lượng nền đại diện cho các yếu tố chưa được xét đến trong công thức như hình dạng mũi tàu, độ nhám vỏ tàu,...
$\beta$	Độ nhạy của năng lượng sóng đối với sự thay đổi vận tốc di chuyển của tàu.
$\gamma$	Độ nhạy của sóng đối với tỷ lệ ngập nước của thân tàu
$\delta$	Độ nhạy của sóng đối với mức độ chật hẹp của luồng lạch

Theo nghiên cứu của Hartman và ctv (1997) [2], mô hình được xây dựng dựa trên công thức tính toán chiều cao sóng tàu cao nhất của Công binh Lục quân Hoa Kỳ (USACE) [3]. Công thức có dạng như sau:

$$H_{max} = \alpha \cdot V^\beta \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^\delta \quad (2)$$

Trong đó:

$H_{max}$  là chiều cao sóng tàu cao nhất

V là vận tốc tàu

D là mớn nước hay phần chìm trong nước của tàu

$L_v$  chiều dài tàu

Sc: độ co hẹp dòng chảy được tính bằng tỉ số giữa diện tích mặt cắt lòng sông và mặt cắt ứốt của tàu.

Các hệ số thực nghiệm trong công thức có ý nghĩa được thể hiện trong Bảng 2.

Dựa trên nghiên cứu của Qian và ctv (2022) [4], đề xuất lựa chọn bốn mô hình hồi quy phi tuyến xác định hệ số thực nghiệm trong công thức tính toán sóng tàu thuyền trên sông Cần Thơ như sau:

Mô hình 1 tham số SCT-1:

$$H_{\max} = \alpha \cdot V^{2,0} \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^{2,5} \quad (3)$$

Mô hình 2 tham số SCT-2:

$$H_{\max} = \alpha \cdot V^\beta \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^{2,5} \quad (4)$$

Mô hình 2 tham số SCT-3:

$$H_{\max} = \alpha \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^\delta \quad (5)$$

Mô hình 3 tham số SCT-4:

$$H_{\max} = \alpha \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^\delta \quad (6)$$

Việc chọn ra bốn mô hình như trên mục đích để kiểm tra độ nhạy các hệ số thực nghiệm đối với điều kiện lòng dẫn nông, hẹp và tàu thuyền có kích thước tương đối nhỏ so với diện tích mặt cắt lòng dẫn như sông Cần Thơ, tìm ra sự phụ thuộc của chiều cao sóng cao nhất với các yếu tố trong công thức.

#### 2.4. Phương pháp đánh giá độ tin cậy của mô hình

Ba chỉ số thống kê được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình gồm : Chỉ số hiệu quả NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), Sai số toàn phương trung bình RMSE (Root Mean Square Error) và Sai số tuyệt đối trung bình MAE (Mean Absolute Error).

##### 2.4.1. Sai số toàn phương trung bình RMSE

Sai số trung bình phương gốc (RMSE) là thước đo phổ biến trong thống kê và khoa học dữ liệu dùng để đánh giá độ chính xác của mô hình dự báo, bằng cách tính căn bậc hai của trung bình các bình phương sai lệch giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế. Công thức tính RMSE như sau [5]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{sim,i} - H_{obs,i})^2} \quad (7)$$

Trong đó:

$H_{sim,i}$  là giá trị chiều cao sóng dự đoán tại thời điểm  $i$

$H_{obs,i}$  là giá trị chiều cao sóng thực đo tại thời điểm  $i$

##### 2.4.2. Chỉ số hiệu quả NSE

Chỉ số hiệu quả NSE là thước đo thống kê phản ánh mức độ biến thiên của biến phụ thuộc được giải thích bởi các biến độc lập trong mô hình hồi quy. NSE có giá trị từ  $-\infty$  đến 1. NSE có giá trị từ  $-\infty$  đến 1:

NSE = 1 : Dự đoán hoàn hảo

NSE > 0,5 : Dự đoán có độ tin cậy tốt

NSE < 0 : Dự đoán kém hơn trung bình quan trắc

Công thức tổng quát được xác định như sau [6]:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (H_{sim,i} - H_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^N (H_{obs,i} - \bar{H}_{obs})^2} \quad (8)$$

Trong đó :

$\bar{H}_{obs}$  là giá trị trung bình của chiều cao sóng thực đo

##### 2.4.3. Sai số tuyệt đối trung bình MAE

MAE dùng để đánh giá độ lớn trung bình của sai lệch giữa kết quả mô phỏng và số liệu thực đo mà không chịu ảnh hưởng quá lớn bởi các giá trị dị biệt. MAE đo lường khoảng cách trung bình giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế theo cùng đơn vị đo lường của biến số. Công thức tính MAE [7] như sau:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_{obs,i} - H_{sim,i}| \quad (9)$$

Trong đó:

$H_{sim,i}$  là giá trị chiều cao sóng dự đoán tại thời điểm  $i$

$H_{obs,i}$  là giá trị chiều cao sóng thực đo tại thời điểm  $i$

### 3. Kết quả và lựa chọn mô hình hồi quy phi tuyến

#### 3.1. Kết quả các mô hình

Bằng các thuật toán xây dựng mô hình hồi quy phi tuyến trên nền MATLAB, k quả xác định các hệ số thực nghiệm trên bốn mô hình được thể hiện trong Bảng 3.

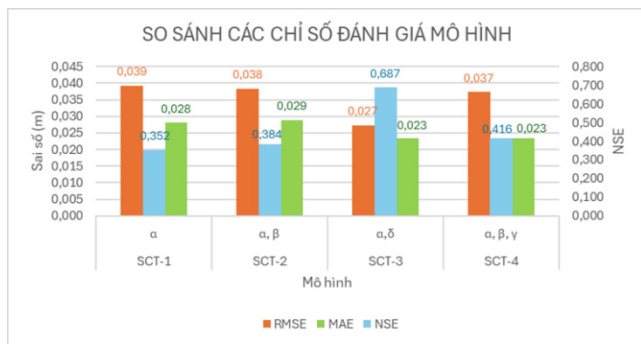
Bảng 3 và và Hình 4 cho thấy việc đưa hệ số co hẹp  $\delta$  vào làm biến số tối ưu đã giúp mô hình nắm bắt tốt hơn quy luật biến đổi của chiều cao sóng, khắc phục được các sai số tồn tại trong các mô hình cố định hệ số  $\delta$  trước đó, đồng thời chỉ số hiệu quả NSE của mô hình SCT-3 đạt mức cao nhất trong các mô hình đã thử nghiệm (NSE  $\approx$  0.69, so với mức <0.4 của các mô hình trước), đồng thời sai số RMSE giảm xuống mức thấp nhất (RMSE  $\approx$  0.027 m).

Điều này chỉ ra rằng đối với điều kiện luồng lạch hẹp như sông Cần Thơ, yếu tố co hẹp đóng vai trò cực kỳ quan trọng và nhạy cảm trong quá trình hình thành sóng, và giá trị thực tế của  $\delta$  có thể lớn hơn nhiều so với các giả định lý thuyết thông thường. Đồng thời, do điều kiện nghiên cứu ở sông Cần Thơ, Kết quả xác định hệ số co hẹp thực nghiệm cho thấy giá trị  $\delta \approx$  61.8, cao vượt trội so với mức lý thuyết ( $\delta =$  2.5). Nguyên nhân

chính xuất phát từ đặc điểm hình học của khu vực khảo sát, nơi tỷ số diện tích mặt cắt ngang ( $S_c$ ) có giá trị khá lớn (trung bình  $S_c > 100$ ). Trong vùng giá trị này, cụm biến số co hẹp ( $S_c/S_c - 1$ ) tiệm cận rất gần về 1 và có biên độ dao động cực nhỏ giữa các kịch bản tàu ở đây là sông thượng Missisipi với các loại tàu thủy hạng nặng lưu thông chủ yếu.

**Bảng 3.** Kết quả hệ số thực nghiệm bốn mô hình.

Mô hình	$\alpha$	$\alpha, \beta$	$\alpha, \delta$	$\alpha, \beta, \gamma$
SCT-1	0,07	0,116	0,038	0,295
SCT-2	2	1,496	2,0	1,763
SCT-3	0,5	0,5	0,5	0,942
SCT-4	2,5	2,5	61,764	2,5



**Hình 4.** Biểu đồ so sánh các chỉ số đánh giá mô hình.

**Bảng 4.** Bảng kết quả chỉ số đánh giá mô hình.

Mô hình	Các tham số hiệu chỉnh	NSE	RMSE	MAE
SCT-1	$\alpha$	0,352	0,039	0,028
SCT-2	$\alpha, \beta$	0,384	0,038	0,029
SCT-3	$\alpha, \delta$	0,687	0,027	0,023
SCT-4	$\alpha, \beta, \gamma$	0,416	0,037	0,023

**3.2. Công thức tính toán sóng tàu cho sông Cần Thơ**

Từ các lập luận trên, nghiên cứu quyết định lựa chọn SCT - 3 (2 tham số  $\alpha, \delta$ ) là mô hình tối ưu để xây dựng công thức thực nghiệm. Đây là mô hình đạt được trạng thái cân bằng tốt nhất: vừa đủ đơn giản để áp dụng thực tế, vừa đủ tinh tế để nắm bắt được đặc thù thủy lực quan trọng nhất (co hẹp) của sông Cần Thơ, đảm bảo độ tin cậy cao trong công tác dự báo. Điều này xác nhận giả thuyết rằng hiệu ứng co hẹp là yếu tố chi phối mạnh mẽ nhất đến năng lượng sóng tại khu vực nghiên cứu

$$H_{max} = 0,037589 \cdot V^\beta \cdot \left(\frac{D}{L_v}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{S_c}{S_c - 1}\right)^{61,764} \quad (10)$$

Trong đó:

H: Chiều cao sóng lớn nhất (m)

V: Vận tốc di chuyển của tàu (m/s)

D: Mớn nước của tàu (m)

L: Chiều dài tàu (m)

$S_c$ : Độ co hẹp (Channel section coefficient), được định nghĩa là tỷ số giữa diện tích mặt cắt ướt của lòng dẫn ( $A_c$ ) và diện tích mặt cắt ngang phần chìm của tàu ( $A_m$ )

**4. Kết luận**

Mô hình hồi quy phi tuyến MATLAB được sử dụng để xác định các hệ số thực nghiệm trong công thức tính toán chiều cao sóng tàu cho sông Cần Thơ. Số liệu mô phỏng từ mô hình được so sánh với số liệu thực đo. Kết quả cho thấy mô hình SCT-3 kết quả từ thuật toán tối ưu hóa phi tuyến, với bộ tham số tìm được là  $\alpha \approx 0.038$  và  $\delta \approx 61.8$ . Đây là mô hình cho kết quả tốt nhất trong tất cả các kịch bản thử nghiệm, đồng thời khẳng định yếu tố co hẹp đóng vai trò cực kỳ quan trọng và nhạy cảm trong quá trình hình thành sóng.

**Lời cảm ơn**

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: TSV2025-98. Tác giả chân thành cảm ơn sự hướng dẫn từ các giảng viên, số liệu và quyền sử dụng thiết bị ADCP Sentinel-V20 thuộc Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ nhằm phục vụ mục tiêu đào tạo và nghiên cứu.

**Tài liệu tham khảo**

- [1]. Toàn, G. T., Duy, Đ. V., Tỳ, T. V., Giang, P. H. H., Thắng, C. N., & Hiền, Đ. K. (2025). *Đánh giá ảnh hưởng của giao thông thủy đến sạt lở bờ sông Cần Thơ*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 15(02), 238–243.
- [2]. Hartman, M. A., & Styles, R. (2020). *Vessel wake prediction tool (Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-IV-121)*. U.S. Army Engineer Research and Development Center..
- [3]. U.S. Army Corps of Engineers, Huntington District. (1980). *Gallipolis locks and dam replacement, Ohio River, Phase I: Advanced engineering and design study (General Design Memorandum)*.
- [4]. Qian, Q., Su, L., Zaloom, V., Jao, M., Wu, X., & Wang, K.-H. (2023). *Field measurements and modelling of vessel-generated waves and caused bank erosion—A case study at the Sabine–Neches Waterway, Texas, USA*. Water, 15(1), 35..
- [5]. C. J. Willmott et al., "Statistics for the evaluation and comparison of models," Journal of Geophysical Research: Oceans, vol. 90, no. C5, pp. 8995-9005,1985.
- [6]. J. E. Nash and J. V. Sutcliffe, "River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles," Journal of hydrology, vol. 10, no.3, pp. 282-290, 1970.
- [7]. Willmott, C. J. (1982). *Some comments on the evaluation of model performance*. Bulletin of the American Meteorological Society, 63(11), 1309–1313.
- [8]. TÀI, T.V., H.N. Quang, and M.C.H.U. Anh, *TỔNG QUAN VỀ CÁC MÔ HÌNH SÓNG ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG CỦA TÀU TRÊN SÔNG*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, 2019(59): p. 37-41.