

# Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến sự ổn định của sà lan trong quá trình thi công công trình cầu

Study on the influence of crane position on the stability of barges during bridge construction operations

> TS NGUYỄN TRỌNG CHỨC\*, KS LÊ QUÝ BÔN

Học viện Kỹ thuật Quân sự

\*Email: trongchuc.nguyen@lqdtu.edu.vn

## TÓM TẮT

Trên thực tế tại Việt Nam, quá trình lựa chọn và bố trí sà lan trong thi công cầu rất phổ biến nhưng vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm thực địa, thiếu các cơ sở khoa học và mô hình tính toán chuyên sâu. Điều này không chỉ tiềm ẩn rủi ro về mất an toàn kỹ thuật mà còn dẫn đến những hạn chế trong việc tối ưu hóa hiệu quả thi công và chi phí đầu tư. Việc nghiên cứu, tính toán sự ổn định của sà lan khi thay đổi vị trí đặt cần cẩu trong quá trình thi công công trình cầu là cần thiết và có giá trị thực tiễn cao. Cơ sở lý thuyết tính toán sà lan phục vụ thi công công trình cầu dựa trên TCVN 11815:2017 nhằm đảm bảo an toàn tuyệt đối cho sà lan trước các tác động của tải trọng đặt trên sà lan. Kết quả nghiên cứu sẽ làm cơ sở cho các đơn vị thi công lựa chọn giải pháp thi công phù hợp.

**Từ khóa:** TCVN 11815:2017; độ ổn định sà lan; độ chìm sà lan; góc nghiêng sà lan; vị trí cần cẩu; bán kính làm việc cần cẩu.

## ABSTRACT

In Vietnam, the selection and placement of barges in bridge construction is common but still primarily relies on field experience, lacking scientific basis and in-depth calculation models. This not only poses risks to technical safety but also leads to limitations in optimizing construction efficiency and investment costs. Research and calculation of barge stability when changing crane positions during bridge construction is necessary and highly valuable in practice. The theoretical basis for calculating barge stability for bridge construction is based on TCVN 11815:2017, aiming to ensure absolute safety for barges under the impact of loads placed on them. The research results will serve as a basis for construction units to select appropriate construction solutions.

**Keywords:** TCVN 11815:2017; barge stability; barge buoyancy; barge inclination angle; crane position; crane working radius.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam có mạng lưới sông ngòi dày đặc với các lưu vực lớn như sông Hồng, sông Mê Kông, sông Đồng Nai và bờ biển dài ven biển Đông, với điều kiện tự nhiên phân hóa phức tạp, làm tăng khó khăn trong thiết kế và thi công cầu. Trước nhu cầu phát triển hạ tầng giao thông ngày càng lớn, việc lựa chọn giải pháp thi công phù hợp với địa hình, mặt bằng và yêu cầu khai thác hiện hữu trở nên cấp thiết [1-3].

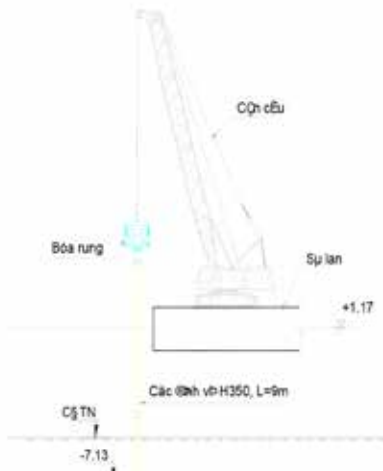
Thi công bằng sà lan là giải pháp hiệu quả trong điều kiện mặt bằng hạn chế, cho phép tận dụng mặt nước, giảm khối lượng đào đắp và tác động đến khu dân cư. Nhờ tính cơ động cao, sà lan đáp ứng linh hoạt các công tác như khoan cọc, lắp đặt dầm, góp phần

duy trì tiến độ và tính liên tục thi công (Hình 1). Đồng thời, giải pháp này rút ngắn thời gian xây dựng, giảm chi phí công trình tạm và hạn chế ảnh hưởng đến giao thông, phù hợp với điều kiện tự nhiên Việt Nam [4].

So với thi công trên bờ, sà lan làm việc trong điều kiện phức tạp hơn do hoạt động trên môi trường nước và chịu đồng thời nhiều loại tải trọng. Hệ sà lan - thiết bị phải chịu tải trọng tĩnh (trọng lượng bản thân, cần cẩu, vật nâng), tải trọng lệch tâm do phân bố không đối xứng và tải trọng động như gió, dòng chảy, sóng và dao động khi vận hành [5-7].

Sự tổ hợp bất lợi của các tải trọng, đặc biệt khi tải trọng thi công lớn và biến thiên theo thời gian có thể làm suy giảm cân bằng và ổn định của sà lan. Nếu không được tính toán và kiểm soát chặt

chẽ có thể phát sinh các nguy cơ như giảm môn nước tự do, mất ổn định chống lật, trượt neo hoặc trôi dạt [8-10].



Hình 1. Sử dụng sà lan trong quá trình đóng cọc thi công công trình cầu

Do đó, việc xác định chính xác khả năng nổi và ổn định tổng thể của sà lan khi bố trí cần cẩu và thiết bị thi công là yêu cầu bắt buộc trong lập và thẩm tra biện pháp thi công theo TCVN 11815:2017. Đây là cơ sở kỹ thuật then chốt nhằm bảo đảm an toàn trong quá trình thi công cầu trên sông và ven biển [1].

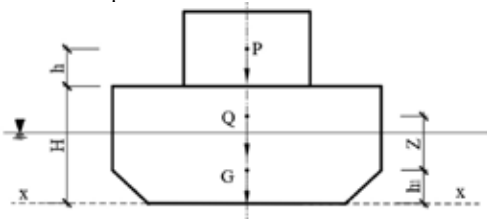
Nhiều yếu tố như tải trọng, vị trí đặt tải và tải trọng gió ảnh hưởng đến tính nổi và ổn định của sà lan. Mặc dù TCVN 11815:2017 đã quy định đầy đủ yêu cầu kỹ thuật đối với hệ nổi phục vụ thi công cầu, việc áp dụng trong thực tế còn hạn chế, chủ yếu dựa trên kinh nghiệm, thiếu cơ sở tính toán chuyên sâu. Điều này tiềm ẩn rủi ro an toàn và hạn chế hiệu quả kinh tế. Vì vậy, nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến ổn định sà lan, làm cơ sở để xuất giải pháp thi công phù hợp.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TÍNH NỔI, SỰ ỔN ĐỊNH CỦA SÀ LAN

Cơ sở lý thuyết để tính toán tính nổi, độ ổn định sà lan trong quá trình thi công cầu dựa theo TCVN 11815:2017 [1].

### 2.1. Xác định trọng tâm hợp lực của sà lan

Xét mô hình vật thể nổi như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ minh họa trọng tâm hợp lực tác dụng lên sà lan

Trong đó: P - Tải trọng đặt trên sà lan (T); G - Trọng lượng của bản thân sà lan (T); V - Thể tích choán nước tính toán của sà lan (m<sup>3</sup>); Q - Tổng tải trọng theo phương đứng tác dụng lên sà lan (T); h - Khoảng cách từ điểm đặt trọng tâm tải trọng đặt trên sà lan tới mặt sà lan (m); H - Chiều cao sà lan (m); h<sub>1</sub> - Khoảng cách từ điểm đặt trọng lượng bản thân của sà lan đến đáy sà lan (m); Z - Khoảng cách từ điểm đặt trọng tâm của hợp lực Q đến đáy sà lan (m); xx' - Trục đối xứng theo phương ngang sà lan; yy' - Trục đối xứng theo phương dọc sà lan.

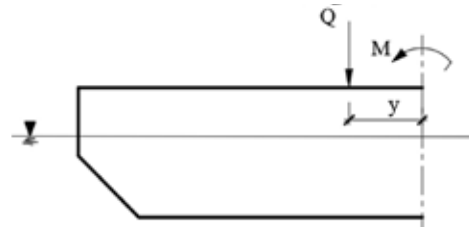
Xác định vị trí điểm đặt của hợp lực Q lên sà lan bằng cách lấy mô-men của các lực đối với trục xx' [1,2].

$$\Sigma M_x = Z.Q - P.(h + H) - G.h_1 = 0 \quad (1)$$

$$Z = \frac{P(h + H) + G.h_1}{Q} \quad (m) \quad (2)$$

### 2.2. Xác định độ chìm của sà lan

Mô hình xác định độ chìm của sà lan khi tải trọng đặt lệch tâm (Hình 3).



Hình 3. Mô hình xác định độ chìm sà lan khi tải trọng đặt lệch tâm

- Xác định độ chìm của sà lan trường hợp có tải trọng đặt lệch tâm được xác định theo công thức (3) [1, 2, 5]:

$$T = T_1 + T_2 \quad (m) \quad (3)$$

+ Độ chìm do tải trọng đứng tâm T<sub>1</sub> xác định theo công thức (4) [1, 2, 5].

$$T_1 = \frac{Q}{\gamma.B.L} \quad (m) \quad (4)$$

Trong đó:  $\gamma$  - Tỷ trọng của nước ( $\gamma=1T/m^3$ ).

+ Độ chìm T<sub>2</sub> do mô-men lệch tâm xác định theo công thức (5) [1, 2, 5].

$$T_2 = \frac{M}{\gamma\mu J} = \frac{Q.x}{\gamma\mu J} \quad (m) \quad (5)$$

Trong đó: M - Mô-men do tải trọng lệch tâm (T.m); x - Khoảng cách từ trọng tâm của tải trọng Q đến trục đối xứng của sà lan (m);  $\mu$  - Hệ số phụ thuộc hình dạng sà lan: phao đầu bằng hệ số  $\mu=1,0$  và phao đầu tròn hệ số  $\mu=1,5$  [1,2]; F=B.L là diện tích đường nước của sà lan (m<sup>2</sup>).

### 2.3. Xác định vị trí tâm nổi E của sà lan

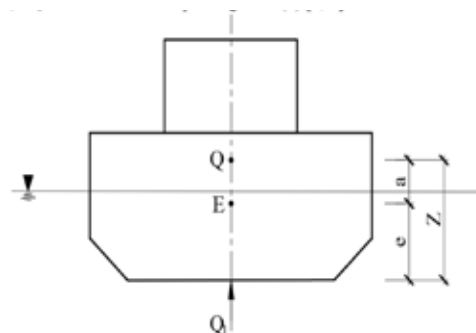
Vị trí tâm nổi được xác định theo công thức (6) [1, 2]:

$$e = \frac{T}{3}(2,5 - \beta) \quad (m) \quad (6)$$

Trong đó: e - Khoảng cách từ vị trí tâm nổi E đến đáy sà lan (m);  $\beta$  - Hệ số đẩy thể tích của lượng nước choán (đối với sà lan chạy trên sông lấy  $\beta=0,9$  [2]).

### 2.4. Xác định khoảng cách từ trọng tâm hợp lực đến tâm nổi của sà lan

Mô hình xác định vị trí trọng tâm tải trọng và tâm nổi sà lan (Hình 4). Khoảng cách từ trọng tâm hợp lực Q đến tâm nổi E như phương trình (7) [1, 2]:



Hình 4. Mô hình xác định vị trí trọng tâm tải trọng và tâm nổi của sà lan

$$a = Z - e \quad (m) \quad (7)$$

Trong đó: a - Khoảng cách từ vị trí trọng tâm hợp lực Q đến vị trí tâm nổi E (m); Z - Khoảng cách từ vị trí trọng tâm hợp lực Q đến đáy sà lan (m).

**2.5. Xác định bán kính ổn định của sà lan**

Bán kính ổn định theo phương dọc, ngang sà lan được thể hiện như phương trình (8-9) [1, 2]:

$$\rho_x = \frac{J_x}{V} = \frac{\gamma \cdot J_x}{Q} \quad (m) \quad (8)$$

$$\rho_y = \frac{J_y}{V} = \frac{\gamma \cdot J_y}{Q} \quad (m) \quad (9)$$

Trong đó:  $\rho_x, \rho_y, J_x, J_y$  - Lần lượt bán kính ổn định và mô-men quán tính của sà lan theo phương dọc, ngang sà lan.

**2.6. Xác định độ nghiêng của sà lan**

Mô hình xác định mô-men lật và độ nghiêng của sà lan (Hình 5). Theo nguyên lý cộng tác dụng tổng cộng mô-men lật đối với tâm nổi như phương trình (10) [1, 2]:

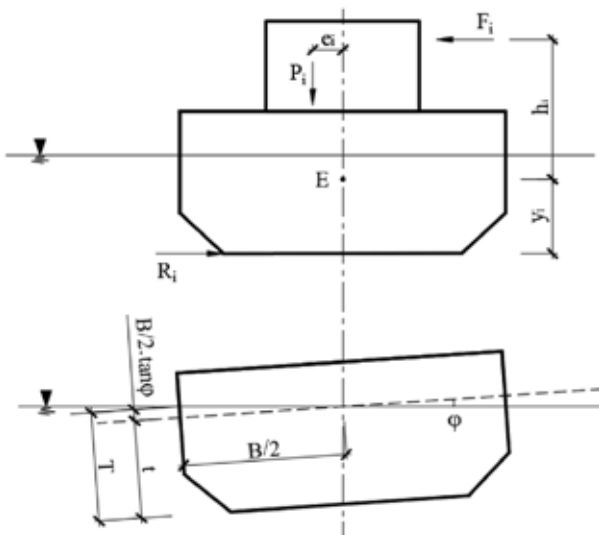
$$M_{lat} = M_1 + M_2 + M_3 \quad (T.m) \quad (10)$$

Trong đó: M1, M2, M3 - Lần lượt là mô-men của các lực dọc, ngang, áp lực nước đối với trục tâm E trên sà lan.

Độ nghiêng của phao được xác định như phương trình (11):

$$\text{tg}\varphi = \frac{M_{lat}}{\gamma \cdot V \cdot (\rho - a)} \quad (11)$$

Trong đó:  $\varphi$  - Góc nghiêng của sà lan (độ).



Hình 5. Mô hình xác định mô-men lật và độ nghiêng của sà lan  
Điều kiện ổn định của sà lan [1]:

$$\rho_x - a \geq 0 \quad \text{và} \quad \rho_y - a \geq 0 \quad (12)$$

**2.7. Xác định độ chìm của sà lan do nghiêng**

Từ TCVN 11815:2017 ta xác định được điều kiện về độ chìm của sà lan do nghiêng như sau [1]:

\* Theo phương dọc sà lan:

- Độ chìm thêm do nghiêng dọc:  $\Delta t_d = 0,5 \cdot L \cdot \text{tg}\varphi_d$  (m).
- Độ chìm tổng cộng mũi sà lan:  $T_{1d} = T + \Delta t_d$  (m).
- Độ chìm tổng cộng đuôi sà lan:  $T_{2d} = T - \Delta t_d$  (m).

Trong đó:  $\varphi_d$  - Góc nghiêng theo phương dọc sà lan (độ); L - Chiều dài sà lan (m); T - Độ chìm bình quân của sà lan (m).

- Điều kiện làm việc an toàn:  $0 < T_{1d} < C$  và  $0 < T_{2d} < C$  với C là mức nước thiết kế của sà lan.

\* Theo phương ngang sà lan:

- Độ chìm thêm do nghiêng ngang:  $\Delta t_n = 0,5 \cdot B \cdot \text{tg}\varphi_n$  (m).
- Độ chìm tổng cộng mạn trái sà lan:  $T_{1n} = T + \Delta t_n$  (m).
- Độ chìm tổng cộng mạn phải sà lan:  $T_{2n} = T - \Delta t_n$  (m).

Trong đó:  $\varphi_n$  - Góc nghiêng theo phương ngang sà lan (độ); B - Chiều rộng sà lan (m); T - Độ chìm bình quân của sà lan (m).

- Điều kiện làm việc an toàn:  $0 < T_{1n} < C$  và  $0 < T_{2n} < C$  với C là mức nước thiết kế của sà lan.

**3. KẾT QUẢ**

**3.1. Tham số đầu vào**

\* Kích thước sà lan 400 T:

Chiều dài sà lan: L = 32 m; chiều rộng sà lan: B = 12 m; chiều cao sà lan: H = 2,5 m; trọng lượng sà lan:  $P_{sl} = 150$  T; chiều cao mạn khô:  $h_{mk} = 0,3$ ; mức nước thiết kế của sà lan: C = 2,2 m.

\* Thông số kỹ thuật cần cầu HITACHI CX-500

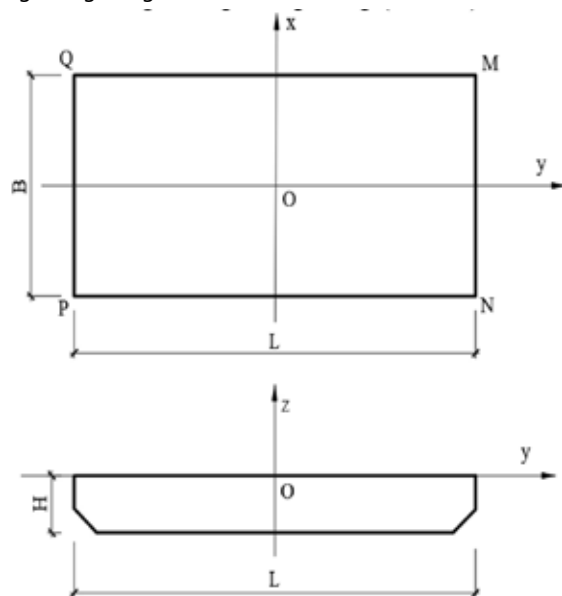
Sức nâng lớn nhất theo thiết kế: 50 T; dài x rộng x cao: (7,5x3,3x3,2)m; trọng lượng máy cơ sà:  $P_c = 50$  T.

\* Thông số tải trọng đặt trên sà lan:

Lồng thép cọc khoan nhồi có đường kính 1,5 m, chiều dài 11,7 m được ghép bởi các thanh thép chủ có đường kính 32 mm, 25 mm và 22 mm đặt cố định trên sà lan với số lượng 21 lồng thép có trọng lượng 57,48 T. Cần cầu làm việc nâng hạ 1 lồng thép với hệ số xung kích k = 1,2 là 3,72 T.

**3.2. Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cầu đến độ nổi, độ ổn định sà lan**

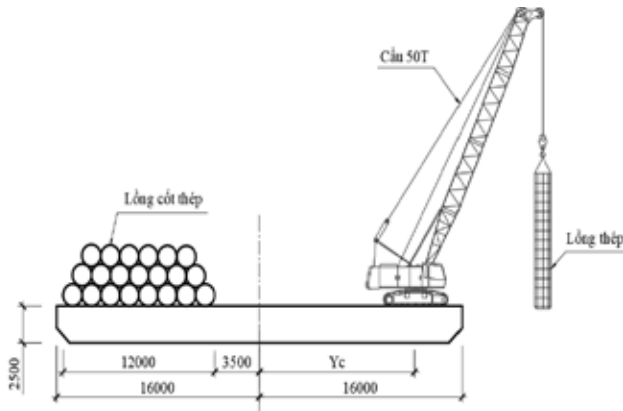
Hệ trục Oxyz được gắn cố định vào thân sà lan, với O tại tâm đối xứng; Ox, Oy lần lượt theo phương ngang và dọc; Oz theo phương thẳng đứng (Hình 6).



Hình 6. Hệ trục tọa độ Oxyz trên thân sà lan

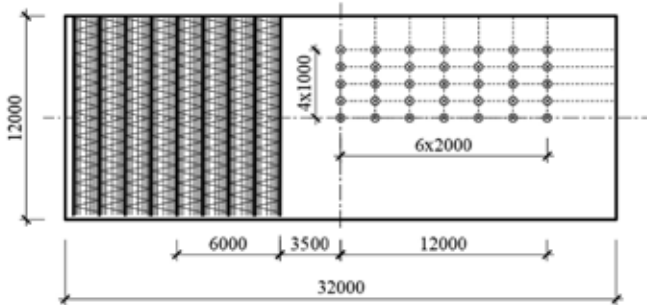
Các tham số được chia thành hai nhóm: Cố định và nhóm thay đổi. Nhóm cố định gồm đặc trưng hình học sà lan và cần cầu; 21 lồng cốt thép (57,48 T) bố trí cố định; tải nâng một lồng có hệ số xung kích k = 1,2 là 3,72 T; bán kính làm việc 14 m, cần chính 25 m, chiều cao nâng 22,31 m, tải nâng cho phép 8,1 T. Điều kiện môi trường ( $q_0 = 155$  kg/m<sup>2</sup>,  $v = 2$  m/s) được giả thiết không đổi. Nhóm thay đổi khảo sát bao gồm các kịch bản sau:

\* Kịch bản 1: Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương dọc sà lan với  $X_c = 0$  và  $Y_c$  thay đổi từ 0 đến 12 m (Hình 7):



Hình 7. Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương dọc sà lan

\* Kịch bản 2: Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương ngang sà lan với  $X_c$  từ 0 đến 4 m tại mỗi vị trí  $Y_c$  (Hình 8).



Hình 8. Các vị trí khảo sát cần cẩu trên sà lan

### 3.2.1. Độ ổn định của sà lan

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ ổn định sà lan được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Độ ổn định theo phương dọc và phương ngang của sà lan khi thay đổi vị trí cần cẩu

$X_c$	$Y_c$	0	2	4	6	8	10	12
		$\rho_x - a$ (m)	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913
0	$\rho_y - a$ (m)	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103
1	$\rho_x - a$ (m)	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913
	$\rho_y - a$ (m)	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103
2	$\rho_x - a$ (m)	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913
	$\rho_y - a$ (m)	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103
3	$\rho_x - a$ (m)	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913
	$\rho_y - a$ (m)	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103
4	$\rho_x - a$ (m)	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913	122,913
	$\rho_y - a$ (m)	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103	15,103

Tại các vị trí cần cẩu khác nhau theo phương dọc và phương ngang thì độ ổn định sà lan không thay đổi đáng kể. Điều kiện về độ ổn định:  $\rho_x - a > 0$  và  $\rho_y - a > 0$  thỏa mãn.

### 3.2.2. Độ chìm và góc nghiêng của sà lan

a) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm và góc nghiêng theo phương dọc sà lan

Kết quả tính toán độ chìm, góc nghiêng sà lan theo phương dọc được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Độ chìm và góc nghiêng khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương dọc sà lan

$X_c$	$Y_c$	0	2	4	6	8	10	12
		$T_{1d}$ (m)	0,402	0,455	0,508	0,562	0,615	0,669
0	$T_{2d}$ (m)	0,959	0,906	0,852	0,798	0,745	0,691	0,638
	$\varphi_d$ (độ)	-0,999	-0,807	-0,615	-0,423	-0,232	-0,040	0,152
	$T_{1d}$ (m)	0,402	0,455	0,509	0,562	0,616	0,669	0,723
1	$T_{2d}$ (m)	0,959	0,905	0,852	0,798	0,745	0,691	0,638
	$\varphi_d$ (độ)	-0,998	-0,806	-0,614	-0,423	-0,231	-0,039	0,153
	$T_{1d}$ (m)	0,402	0,455	0,509	0,562	0,616	0,669	0,723
2	$T_{2d}$ (m)	0,959	0,905	0,852	0,798	0,745	0,691	0,638
	$\varphi_d$ (độ)	-0,998	-0,806	-0,614	-0,423	-0,231	-0,039	0,153
	$T_{1d}$ (m)	0,402	0,455	0,509	0,562	0,616	0,669	0,723
3	$T_{2d}$ (m)	0,959	0,905	0,852	0,798	0,745	0,691	0,638
	$\varphi_d$ (độ)	-0,998	-0,806	-0,614	-0,423	-0,231	-0,039	0,153
	$T_{1d}$ (m)	0,402	0,455	0,509	0,562	0,616	0,669	0,723
4	$T_{2d}$ (m)	0,959	0,905	0,852	0,798	0,745	0,691	0,638
	$\varphi_d$ (độ)	-0,998	-0,806	-0,614	-0,423	-0,231	-0,039	0,153

Dấu (-) thể hiện sà lan nghiêng về phía đuôi PQ; dấu (+) thể hiện sà lan nghiêng về phía mũi MN.

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy, khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương dọc sà lan ( $Y_c$  tăng từ 0 đến 12 m), độ chìm đầu ( $T_{1d}$ ), độ chìm đuôi ( $T_{2d}$ ) và góc nghiêng dọc ( $\varphi_d$ ) biến thiên, phản ánh đặc trưng nghiêng dọc do tải trọng lệch tâm theo chiều dài. Cụ thể,  $T_{1d}$  tăng từ 0,402 m lên 0,723 m, trong khi  $T_{2d}$  giảm từ 0,959 m xuống 0,638 m, cho thấy sự thay đổi mô-men lệch tâm làm mũi chìm sâu hơn và đuôi nổi tương đối, tức sà lan chuyển trạng thái chúi dọc thay vì tăng độ chìm tổng thể. Đồng thời,  $\varphi_d$  giảm dần khi  $Y_c$  tăng, thể hiện xu hướng cải thiện cân bằng dọc. Ngược lại, khi thay đổi vị trí theo phương ngang ( $X_c$  từ 0 đến 4 m), các giá trị gần như không biến đổi, chứng tỏ ảnh hưởng của  $X_c$  trong phạm vi khảo sát là không đáng kể so với  $Y_c$ . Điều kiện an toàn  $0 < T_{1d}, T_{2d} < 2,2$  m (mức nước thiết kế) đều được thỏa mãn cho toàn bộ miền khảo sát.

b) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm và góc nghiêng theo phương ngang sà lan

Kết quả tính toán độ chìm, góc nghiêng sà lan phương ngang được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Độ chìm và góc nghiêng khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương ngang sà lan

Xc	Yc	0	2	4	6	8	10	12
		T <sub>1n</sub> (m)	0,736	0,736	0,736	0,736	0,736	0,736
0	T <sub>2n</sub> (m)	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
	φ <sub>n</sub> (độ)	0,531	0,531	0,531	0,531	0,531	0,531	0,531
	T <sub>1n</sub> (m)	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818	0,818
1	T <sub>2n</sub> (m)	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543
	φ <sub>n</sub> (độ)	1,311	1,311	1,311	1,311	1,311	1,311	1,311
	T <sub>1n</sub> (m)	0,899	0,899	0,899	0,899	0,899	0,899	0,899
2	T <sub>2n</sub> (m)	0,461	0,461	0,461	0,461	0,461	0,461	0,461
	φ <sub>n</sub> (độ)	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090	2,090
	T <sub>1n</sub> (m)	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
3	T <sub>2n</sub> (m)	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
	φ <sub>n</sub> (độ)	2,869	2,869	2,869	2,869	2,869	2,869	2,869
	T <sub>1n</sub> (m)	1,063	1,063	1,063	1,063	1,063	1,063	1,063
4	T <sub>2n</sub> (m)	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298
	φ <sub>n</sub> (độ)	3,647	3,647	3,647	3,647	3,647	3,647	3,647

Dấu (-) thể hiện sà lan nghiêng về phía mạn phải PN; dấu (+) thể hiện sà lan nghiêng về phía mạn trái QM.

Kết quả tại Bảng 3 cho thấy, khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương ngang sà lan (X<sub>c</sub> từ 0 đến 4 m), các thông số T<sub>1n</sub>, T<sub>2n</sub> và φ<sub>n</sub> hầu như không phụ thuộc vào Y<sub>c</sub> tại từng giá trị X<sub>c</sub>. Khi X<sub>c</sub> tăng, độ chìm mạn trái T<sub>1n</sub> tăng từ 0,736 m lên 1,063 m, trong khi độ chìm mạn phải T<sub>2n</sub> giảm từ 0,625 m xuống 0,298 m, thể hiện quy luật biến thiên đơn điệu. Điều này cho thấy tải trọng lệch tâm theo phương ngang làm thay đổi phân bố độ chìm giữa hai mạn thay vì làm tăng độ chìm tổng thể. Điều kiện an toàn 0 < T<sub>1n</sub>, T<sub>2n</sub> < 2,2 m (mức nước thiết kế) đều được thỏa mãn trong toàn bộ miền khảo sát.

c) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm góc của sà lan (vị trí Q)

Độ chìm lớn nhất tại góc Q của sà lan theo nguyên lý cộng tác dụng được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Độ chìm tại góc Q của sà lan khi thay đổi vị trí cần cẩu

Xc	Yc	0	2	4	6	8	10	12
		T <sub>max</sub> (m)	1,015	0,961	0,908	0,854	0,801	0,747
1	T <sub>max</sub> (m)	1,096	1,043	0,989	0,936	0,882	0,828	0,775
2	T <sub>max</sub> (m)	1,178	1,124	1,071	1,017	0,964	0,910	0,857
3	T <sub>max</sub> (m)	1,260	1,206	1,152	1,099	1,045	0,992	0,938
4	T <sub>max</sub> (m)	1,341	1,288	1,234	1,181	1,127	1,074	1,020

Kết quả tại Bảng 4 cho thấy, độ chìm lớn nhất tại góc sà lan (T<sub>max</sub>) tăng khi cần cẩu dịch chuyển lệch tâm theo cả phương dọc và phương ngang, đặc biệt rõ khi lệch về phía mạn. Giá trị T<sub>max</sub> lớn nhất đạt 1,341 m tại vị trí X<sub>c</sub> = 4 m, Y<sub>c</sub> = 0 m. Tuy nhiên, toàn bộ T<sub>max</sub> đều nhỏ hơn mức nước thiết kế C = 2,2 m, do đó các trường hợp khảo sát đều thỏa mãn điều kiện an toàn về độ chìm.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thu được ta có nhận xét sau:

- Trong điều kiện tham số đầu vào khảo sát, có thể cho phép cần cẩu làm việc trong miền 0 ≤ Y<sub>c</sub> ≤ 12 m và 0 ≤ X<sub>c</sub> ≤ 4 m.

- Khi cần cẩu dịch chuyển theo phương dọc sà lan thì làm thay đổi phân bố độ chìm mũi, đuôi sà lan nhưng không làm tăng đáng kể T<sub>max</sub> đồng thời φ<sub>n</sub> tiến dần về 0 cho thấy trạng thái cân bằng dọc sà lan được cải thiện.

- Khi cần cẩu lệch về phía mạn tạo mô-men gây nghiêng lớn hơn so với dịch chuyển theo phương dọc trong miền khảo sát, do đó nên ưu tiên bố trí cần cẩu gần trục đối xứng dọc sà lan, hạn chế làm việc lệch về phía mạn sà lan nếu không cần thiết.

- Để tăng độ tin cậy trong ứng dụng thực tế, tiếp tục nghiên cứu các tham số: Bán kính làm việc của cần cẩu, tải nâng và hệ số động, cấp gió, vận tốc dòng chảy... và tổ hợp tải khác nhau nhằm xây dựng được biểu đồ vùng an toàn cho từng trường hợp thi công.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11815:2017 về Thiết kế công trình phụ trợ trong thi công cầu. TCVN 11815:2017, 2017.
- [2] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế các công trình phụ tạm để thi công cầu, tập 1. NXB. Xây dựng.
- [3] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế các công trình phụ tạm để thi công cầu, tập 2. NXB. Xây dựng, 2004.
- [4] Nguyễn Viết Trung. Sổ tay thi công cầu cống, 2004.
- [5] Đinh Sơn Hùng. Các phương tiện vượt sông. Học viện Kỹ thuật Quân sự, 1998.
- [6] Tran Van Tao & Nguyen Chi Luy. The Effect of the Change in the Position of Load on the Inclination Angle of Floating Crane, 2020.
- [7] Nguyễn Viết Trung. Các công nghệ thi công cầu. NXB. Xây dựng, 2012.
- [8] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế thi công cầu. NXB. Xây dựng, 2006.
- [9] D G Musca (Anghelache). Static and dynamic stability for floating cranes. Materials Science and Eng., 400, 082015, 2018.
- [10] Osman Özen, Bekir Şener. Comparative investigation of crane effect on intact stability criteria for ships. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), vol 67 Issue 6, 2019.