

TÍNH TOÁN ĐƯỜNG DÂY NEO CÓ KỂ ĐẾN KHỐI GIA TẢI

Nguyễn Quốc Hoà¹

Tóm tắt: Bài báo này trình bày việc phân tích bài toán tĩnh lực học đường dây neo có kể đến khối gia tải gắn với đường dây neo và so sánh với trường hợp dây neo không có khối gia tải. Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng trong tính toán thiết kế hệ thống neo tàu ở các vịnh, ven biển khi không có điều kiện xây dựng các cảng kiên cố.

Từ khóa: công trình nổi, đường dây neo, khối gia tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống dây neo được sử dụng rộng rãi để neo đậu các công trình nổi. Chiều dài dây neo được lựa chọn từ điều kiện chịu lực đảm bảo cho công trình nổi ổn định vị trí trong quá trình neo đậu. Trong những trường hợp cần khống chế phạm vi dịch chuyển của công trình nổi, người ta bố trí các vật nặng gắn kết với dây neo (sau này gọi là khối gia tải) để giảm tác dụng của lực môi trường lên công trình nổi và dây neo truyền xuống neo đặt dưới đáy biển. Giải pháp này cho phép giảm chiều dài dây neo, tiết kiệm các chi phí xây dựng.

Nội dung dưới đây sẽ trình bày kết quả tính toán tĩnh lực học đường dây neo có kể đến khối gia tải và so sánh với trường hợp dây neo không có khối gia tải.

2. CÁC BÀI TOÁN VỀ DÂY NEO

Trong tính toán thiết kế hệ thống neo bài toán tĩnh lực học đường dây neo là bài toán cơ bản cần được xem xét trước hết. Dưới đây sẽ trình bày lý thuyết tính toán dây neo không có khối gia tải và bài toán dây neo có khối gia tải. Sau đó các tính toán số sẽ cho phép so sánh hai trường hợp đã nêu.

2.1 Bài toán dây neo không có khối gia tải

Bài toán tĩnh lực học đường dây neo được xét với các giả thiết sau:

- Bỏ qua lực tác động trực tiếp của các yếu tố môi trường biển (sóng, dòng chảy) lên dây neo. Dây neo làm nhiệm vụ truyền tác động của các yếu tố môi trường biển lên công trình nổi xuống

neo đặt ở đáy biển.

- Bỏ qua biến dạng đàn hồi của dây neo khi chịu lực căng dọc trục.

Các giả thiết trên tương đương với việc coi lực ngang tác dụng lên mọi điểm trên chiều dài dây neo là như nhau.

- Xét bài toán cân bằng tĩnh của đường dây neo đơn cho trên hình 1 với các thông số sau: d - độ sâu nước; dây neo L_{AC} có trọng lượng trong nước trên chiều dài đơn vị là q với đoạn treo trong nước có chiều dài L_{BC} , đoạn nằm trên nền đáy biển có chiều dài L_{AB} . Góc giữa đường tiếp tuyến với dây neo và mặt phẳng nằm ngang tại điểm B là $\theta_B = 0$. Tại điểm A dây neo được nối với neo cố định ở đáy biển, tại điểm C dây neo được nối với công trình nổi hoặc phao dùng để neo công trình nổi. H - lực căng ngang ban đầu giữ công trình nổi ở vị trí cân bằng tĩnh. Chiều dài L_{AB} được gọi là độ dài dự trữ thường được chọn sao cho khi công trình nổi dịch chuyển sang ngang dưới tác dụng của lực môi trường thì điểm B dịch chuyển đến vị trí điểm A sao cho $\theta_A = 0$.

Ở trạng thái cân bằng tĩnh, chiều dài đoạn dây neo L_{BC} được xác định theo công thức sau:

$$L_{BC} = L_{\min} = d \sqrt{\frac{2H}{qd} + 1} \quad (1)$$

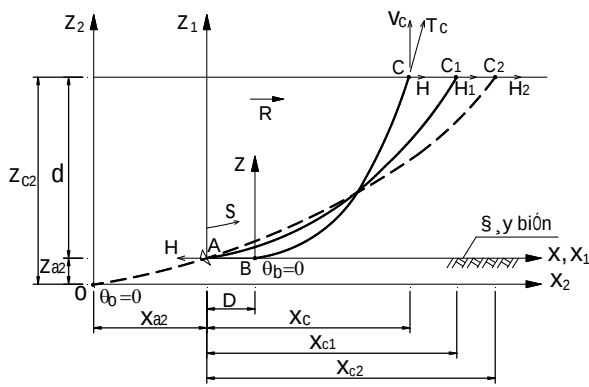
Và khoảng cách x_c được xác định theo công thức:

$$x_c = D + \frac{H}{q} \operatorname{Arsh}\left(\frac{q}{H} L_{BC}\right) \quad (2)$$

Lực căng trong dây neo tại điểm C:

$$T_c = H + qd \quad (3)$$

¹ Viện Xây dựng Công trình biển - Trường Đại học Xây dựng



Hình 1

• Giả sử có lực môi trường theo phương ngang R:

$$R = H_1 - H \quad (4)$$

tác dụng bổ sung làm công trình nổi dịch chuyển theo phương ngang và điểm C dịch chuyển tới điểm C₁ sao cho điểm B dịch chuyển tới điểm A và $\theta_A = 0$.

Khoảng cách x_{c1} được xác định theo công thức sau:

$$x_{c1} = \frac{H_1}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H_1} L_{AC} \right) \quad (5)$$

$$L_{AC} = D + L_{BC} \quad (6)$$

Độ dịch chuyển ngang của điểm C tới điểm C₁ sẽ là:

$$\overline{CC_1} = \frac{H_1}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H_1} L_{AC} \right) - D - \frac{H}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H} L_{BC} \right) \quad (7)$$

• Trường hợp công trình nổi chịu tác dụng của lực ngang $H_2 > H_1$, điểm C dịch chuyển ngang đến vị trí mới C₂ với $\overline{CC_2} > \overline{CC_1}$ và chiều dài dây neo $L_{OC_2} = L_1$, (hình 1). Khi đó, tại điểm A sẽ xuất hiện lực nhỏ neo theo phương đứng V_A và $\theta_A \neq 0$.

Các thông số của đường dây neo trong trường hợp này sẽ là:

$$L_{OA} = L_1 - L_{AC} \quad (8)$$

Xét đoạn dây L_{OA} có:

$$H_2 = \frac{q}{2} \left[\frac{L_{OA}^2}{z_{a2}} - z_{a2} \right] \quad (9)$$

Đối với đoạn dây L_{OC_2} cũng có:

$$H_2 = \frac{q}{2} \left[\frac{L_1^2}{z_{c2}} - z_{c2} \right] \quad (10)$$

$$\text{trong đó: } z_{c2} = d + z_{a2} \quad (11)$$

Với giả thiết lực căng ngang tại mọi điểm trên đường dây neo như nhau, từ các biểu thức (10) và (11) nhận được:

$$\frac{L_{OA}^2}{z_{a2}} - z_{a2} = \frac{L_1^2}{d + z_{a2}} - (d + z_{a2}) \quad (12)$$

$$\text{Suy ra: } \frac{L_1^2}{d + z_{B1}} - \frac{(L_1 - L_0)^2}{z_{B1}} = d. \quad (13)$$

Giải phương trình bậc hai (13) xác định được z_{a2} và $z_{c2} = z_{a2} + d$.

Tiếp theo, thay giá trị z_{a2} vào công thức (9) để xác định lực căng ngang H_2 .

Khoảng cách x_{a2} được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned} x_{a2} &= \frac{H_2}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H_2} L_{OA} \right) = \\ &= \frac{H_2}{q} \text{Arsh} \left[\frac{q}{H_2} (L_1 - L_{AC}) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

Hoành độ của điểm C₂:

$$x_{c2} = \frac{H_2}{q} \text{Arch} \left(\frac{q}{H_2} z_{c2} + 1 \right) - x_{a2} \quad (15)$$

Độ dịch chuyển của điểm C đến điểm C₂:

$$\overline{CC_2} = x_{c2} - x_c \quad (16)$$

Lực nhỏ neo tại điểm A theo phương đứng sẽ là:

$$V_A = q \cdot L_{OA} \quad (17)$$

Lực căng trong dây neo:

$$T_{c2} = \sqrt{V_{c2}^2 + H_2^2} = H_2 + q \cdot z_{c2} \quad (18)$$

trong đó: $V_{c2} = q \cdot L_{OC_2}$

Điều kiện làm việc an toàn của dây neo:

$$T_c < [T] \quad (19)$$

trong đó $[T]$ - lực căng cho phép trong dây neo, lấy theo tiêu chuẩn thiết kế [3].

Lần lượt xét sự dịch chuyển ngang của điểm C sẽ xác định được lực nhỏ neo, lực căng trong dây neo để xét khả năng giữ của neo và sự làm việc an toàn của dây neo và các thiết bị liên kết giữa dây neo với neo và công trình nổi.

2.2 Bài toán dây neo có khối gia tải

Trong thực tế khi cần không chế sự dịch chuyển ngang của điểm neo C có thể lựa chọn

giải pháp tăng khả năng giữ của neo và chọn kích thước dây neo để tăng giá trị trọng lượng đơn vị trong nước q . Việc tăng khả năng giữ của neo phụ thuộc vào công nghệ chế tạo neo. Việc tăng kích thước dây neo sẽ dẫn đến tăng kinh phí đầu tư xây dựng. Để giải quyết bài toán hạn chế dịch chuyển của điểm C người ta thường bố trí các vật nặng dạng trọng lực gắn với đường dây neo (sau này sẽ gọi là khối gia tải) nhằm triệt tiêu bớt lực tác dụng truyền từ công trình nổi xuống neo thông qua dây neo..

Xét trường hợp dây neo trên hình 2, gắn thêm khối gia tải có trọng lượng W_s tại điểm B. Dưới tác dụng của lực ngang bổ sung R khối gia tải bị nâng lên khỏi mặt đất đến vị trí B_1 , với điều kiện biên tại điểm neo A như sau:

$$x_A = 0, z_A = 0, \left. \frac{dz}{dx} \right|_A = 0 \quad (20)$$

Trong trường hợp này điểm B_1 trở thành điểm gãy, khi đó có:

$$T(s) \cdot \cos \theta(s) = H = \text{constant}, \quad (21)$$

$$T(s) \cdot \sin \theta(s) = F(s) \quad (22)$$

trong đó:

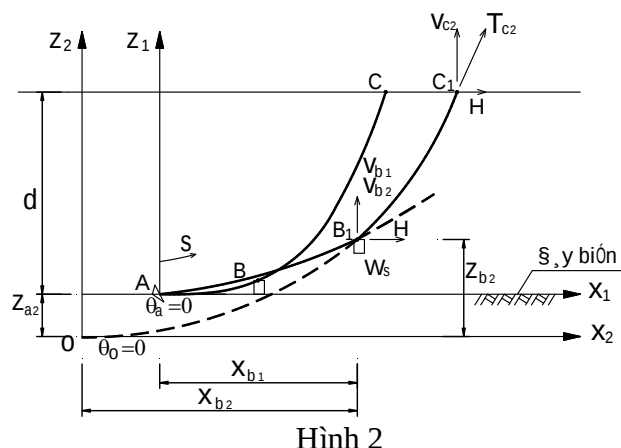
$$F(s) = \begin{cases} qs & s < L_{AB} \\ qs + W_s & s > L_{AB} \end{cases} \quad (23)$$

W_s - trọng lượng khối gia tải trong nước:

$$W_s = \frac{\gamma_s - \gamma_n}{\gamma_s} W_1 \quad (24)$$

W_1 - trọng lượng khối gia tải trong không khí;

γ_s và γ_n - tương ứng là trọng lượng riêng của vật liệu chế tạo khối gia tải và trọng lượng riêng của nước.



Hình 2

Đối với điểm $M(x,z)$ nằm về phía trái điểm gắn khối gia tải $s = L_{AB}$ các công thức tính toán tọa độ và chiều dài đoạn dây neo như sau:

$$z_m = \frac{H}{q} \left[\text{ch} \left(\frac{q}{T_0} x_m \right) - 1 \right] \quad (25)$$

$$\frac{dz_m}{dx} = \text{sh} \left(\frac{q}{H} x_m \right) \quad (26)$$

$$s_m = \frac{H}{q} \text{sh} \left(\frac{q}{H} x_m \right) \quad (27)$$

Dưới tác dụng của trọng lượng W_s , tại điểm B sự thay đổi góc giữa tiếp tuyến của đường dây neo với mặt phẳng nằm ngang như sau:

$$\left(\frac{dz}{dx} \right)_b^+ - \left(\frac{dz}{dx} \right)_b^- = \frac{F(L_{AB}^+) - F(L_{AB}^-)}{H} = \frac{W_s}{H} \quad (28)$$

Ở đây dấu (+) và (-) chỉ giới hạn phía tay phải và tay trái so với điểm B_1 .

Và đoạn dây L_{BC} sẽ có dạng khác. Chiều dài L_{OB} được xác định theo công thức sau:

$$L_{OB} = L_{AB} + L_{eq} \quad (29)$$

trong đó L_{eq} - chiều dài tương đương của dây neo do trọng lượng của khối gia tải gây nên.

Chú ý tới công thức (24) và (28) chiều dài L_{eq} được tính theo công thức sau:

$$L_{eq} = \frac{W_s}{H} = \frac{(\gamma_s - \gamma_n) W_1}{\gamma_s H} \quad (30)$$

Khoảng cách từ đáy biển đến điểm B:

$$x_{b1} = \frac{H}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H} L_{AB} \right) \quad (31)$$

$$z_{b1} = \frac{H}{q} \left[\text{ch} \left(\frac{q}{H} x_{b1} \right) - 1 \right] \quad (32)$$

Các khoảng cách:

$$x_{b2} = \frac{H}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H} L_{OB} \right) \quad (33)$$

$$z_{b2} = \frac{H}{q} \left[\text{ch} \left(\frac{q}{H} x_{b2} \right) - 1 \right] \quad (34)$$

Toạ độ của điểm C:

$$z_{c2} = z_{b2} + d - z_{b1} = z_{a2} + d \quad (35)$$

Chiều dài

$$L_{OC} = (d + z_{a2}) \sqrt{\frac{2H}{q(d + z_{a2})} + 1} \quad (36)$$

$$L_{BC} = L_{OC} - L_{OB}$$

$$L_{AC} = L_{AB} + (L_{OC} - L_{OB}) \quad (37)$$

Và các toạ độ:

$$x_{OC} = \frac{H}{q} \text{Arsh} \left(\frac{q}{H} L_{OC} \right) \quad (38)$$

$$x_{BC} = x_{OC} - x_{b2} \quad (39)$$

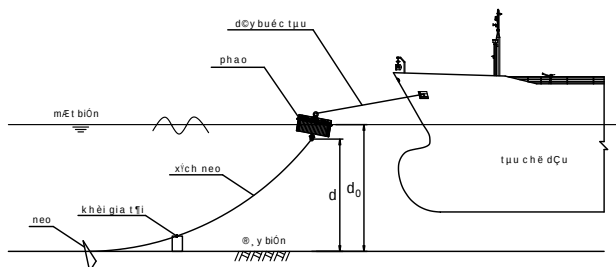
$$x_{AC} = x_{b1} + x_{BC} \quad (40)$$

Lực căng trong dây neo tại điểm C:

$$T_{c2} = H + (z_{a2} + d) \cdot q \quad (41)$$

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Cho dây neo đơn của hệ neo tàu như trên hình 3. Bài toán đặt ra cần xác định các thông số của đường dây neo đơn có và không có khối gia tải dùng để giữ phao neo tàu chở dầu trọng tải 50.000 tấn.



Hình 3. Tàu chở dầu và hệ dây neo đơn

1) Các thông số kỹ thuật của tàu chở dầu:

Chiều dài tàu lớn nhất $L = 234,0\text{m}$

Chiều rộng tàu: $B = 31,3\text{m}$

Chiều cao mạn tàu $H = 16,0\text{m}$

Mớn nước đầy tải: $T = 12,4\text{m}$

Mớn nước không tải: $T_0 = 3,2\text{m}$

Trọng tải DWT = 50.000 tấn

2) Các điều kiện khai thác:

Vận tốc gió tính toán: $V_w = 20,00\text{ m/s}$

Tốc độ dòng chảy: $V_c = 1,20\text{ m/s}$

Chiều cao sóng tính toán: $H_{\max} = 3,50\text{ m}$

Chu kỳ sóng: $T_{\text{sóng}} = 8,0\text{ s}$

Độ sâu nước: $d = 20,00\text{ m}$

3) Các thông số xích neo:

Đường kính xích neo: $\phi = 105\text{ mm}$

Trọng lượng trong nước của xích neo:

$q = 2100\text{ N/m}$

Lực kéo đứt $T_{\text{dn}} = 770,00\text{ T}$

Lực căng cho phép của dây neo

$[T] = T_{\text{dn}}/5 = 154\text{ T}$

Các thông số đường dây neo được xem xét cho 2 trường hợp sau:

-Dây neo không có khối gia tải;

-Dây neo có gắn khối gia tải tại điểm B (hình 2).

4) Kết quả tính toán như sau:

Trường hợp dây neo không có khối gia tải (theo Hình 1): Các thông số của đường dây neo khi không có khối gia tải được nêu trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của đường dây neo khi không có khối gia tải

Thông số tính toán	Công thức	Giá trị số	Đơn vị
Chiều dài dây neo	$L_1 =$	55.00	m
Lực căng ngang ban đầu	$H =$	100	kN
Trọng lượng đơn vị trong nước của dây neo	$q =$	2100	N/m
Độ sâu nước	$d =$	20	m
Chiều dài tối thiểu của dây neo	$L_0 = L_{bc} = d \cdot \sqrt{2 \cdot H / (q \cdot d + 1)} =$	48.01	m
Chiều dài dự trữ của dây neo	$D = L_1 - L_0 =$	6.9921	m
Khoảng cách Xbc	$X_{bc} = H / q \cdot \text{Arsh}(q \cdot L_0 / H) =$	42.24	m
Khoảng cách Xac	$X_{ac} = D + X_{bc} =$	49.24	
Lực căng trong dây neo	$T = H + qd =$	142	kN
Lực ngang tác dụng để điểm B dịch chuyển đến điểm A	$H_1 = q/2 \cdot (L_1^2 / d - d) =$	137.81	kN
Lực ngang bổ sung	$R = H_1 - H =$	37.81	kN
Độ dịch chuyển của điểm C so với điểm A theo phương ngang	$X_1 = X_{ac1} =$	50.0	m
Độ dịch chuyển ngang của điểm C	$CC_1 = X_1 - X - D =$	0.78	m
Lực căng lớn nhất trong dây neo tại điểm C1	$T_1 = H_1 + qd =$	179.81	kN

Từ bảng tính cho thấy khi có lực môi trường theo phương ngang $R=37,81\text{kN}$ tác dụng lên tàu chở dầu thì dây neo bị căng và điểm B dịch về điểm neo A, nhưng vẫn đảm bảo điều kiện góc tiếp tuyến của đường dây neo tại A và phương ngang là $\theta_A = 0$. Nếu $R > 37,81\text{kN}$ thì tại A sẽ xuất hiện lực nhổ neo.

- Trường hợp dây neo có khối gia tải (theo Hình 2):

Với giả thiết phương tác dụng của lực môi trường (gió, sóng, dòng chảy) nằm trong cùng mặt phẳng với dạng hình học của đường dây

neo và trục dọc tàu, sử dụng tài liệu [3, 4] xác định được lực ngang tác dụng lên tàu chở dầu truyền sang dây neo là: $H = 450,00\text{ kN}$.

Như vậy, lực tác dụng bổ sung theo phương ngang là:

$$R=350\text{ kN}$$

Để trong quá trình làm việc đoạn dây neo LAB có thể tách khỏi nền đất nhưng góc tiếp tuyến của đường dây neo tại A và phương ngang vẫn đảm bảo $\theta_A = 0$ để neo không bị nhổ, tại điểm B sẽ gắn khối gia tải. Kết quả tính toán cho một số khối gia tải được nêu trong bảng 2.

Bảng 2. Mối quan hệ lực căng lớn nhất trong dây neo và trọng lượng khối gia tải

Thông số tính toán	Ký hiệu	Trọng lượng khối gia tải					Đơn vị tính
Trọng lượng khối gia tải	P=	100	150	200	250	300	kN
Chiều dài dây neo	LAC=	47.03	46.55	46.09	45.64	45.20	m
Chiều dài dự trữ của dây neo	LAB=	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	m
Lực căng lớn nhất trong dây neo	$T_{c2}=$	183.8	187.79	193.05	199.57	207.32	kN

4. KẾT LUẬN

- Kết quả tính toán của hai trường hợp trên cho thấy, có thể sử dụng khối gia tải gắn với đường dây neo để khống chế lực nhổ đối với neo. Ở ví dụ trên, khi sử dụng khối gia tải có thể giảm chiều dài đoạn xích treo trong nước, và lực căng trong dây neo ở điểm liên kết giữa dây neo và phao neo hoặc công trình nổi tăng cũng

không đáng kể.

- Giải pháp này có thể sử dụng hiệu quả trong tính toán thiết kế hệ thống neo tàu ở các vịnh, ven biển khi không có điều kiện xây dựng các cảng kiên cố.

- Trong tính toán thiết kế cần kể đến sự ma sát giữa khối gia tải và đất nền nhất là khi sử dụng khối gia tải có trọng lượng lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Minoo H. Patel - *Dynamics of Offshore Structures*, Butterworth & Co. Ltd. 1989
- [2] O.M. Faltinsen - *Sea Load on Ships and Offshore Structures*, Cambridge University Press 1990
- [3] Naval Facilities Engineering Command - *Fleet Moorings, Basic Criteria and Planning Guidelines, Design Manual 26.5*, June 1985
- [4] *Chỉ dẫn tính toán hệ thống neo ụ nổi* (Hải quân Liên Xô)

Abstract

CALCULATING CATENARY LINE WITH LUMPED MASS

This paper presents the static analysis problem of mooring lines taking account of lumped mass connected with mooring lines. The research results can be used in design calculations mooring system in the Gulf, where the construction of the fixed permanent port is not possible.

Keywords: *floating structure, catenary line, lumped mass.*

Người phản biện: PGS.TS. Lê Xuân Roanh

BBT nhận bài: 10/6/2013

Phản biện xong: 17/6/2013