

## MỘT TRƯỜNG HỢP ỔN ĐỊNH TĨNH HỌC CỦA DÀN KHOAN TỰ NÂNG

ENTOV V.M., PHẠM HỮU TỰ

Trong hai mươi năm trở lại đây trên thế giới phát triển rất nhanh ngành khai thác dầu khí ngoài khơi và ở Việt Nam hiện nay đang khai thác ở vùng biển Vũng tàu. Dàn khoan kiểu tự nâng là một trong những phương tiện để khai thác dầu khí ở những vùng có độ sâu từ 100 mét trở lên. Thiết bị này có phao nổi và ít nhất là ba chân đỡ, thường là hình trụ tròn.

Khi vận chuyển trên biển, các chân đỡ được kéo lên trên mặt nước và cố định lại theo chiều thẳng đứng. Ở các vị trí khoan, các chân đỡ được hạ xuống đáy biển và cố định dưới đáy biển trong đất, sau đó dàn khoan được nâng lên khỏi mặt nước theo các chân đỡ nhờ những thiết bị đặc biệt để không chịu sự va đập của sóng.

Trong quá trình hạ các chân đỡ của dàn khoan tự nâng, do dàn khoan nằm trên phao nổi nên phần trên của các chân đỡ chịu tác động của lực và mômen do sóng gây ra, phía dưới của các chân đỡ chịu tác dụng của áp lực thủy tĩnh. Như vậy xuất hiện vấn đề cần phải khảo sát tính ổn định cân bằng của hệ các chân đỡ và dàn khoan khi hạ các chân đỡ xuống đáy biển.

Trong bài này chủ yếu xét bài toán về ổn định tĩnh học của hệ chân đỡ - dàn khoan trong nước yên tĩnh. Bài toán đó được mô hình hóa như sau: Xét ổn định tĩnh học của cột trụ tròn ngập thẳng đứng trong nước biển, nước biển ở trạng thái yên tĩnh, phao nổi và dàn khoan phía trên mặt nước gắn với cột trụ chịu tác động của mômen  $M$ ; phía dưới của cột trụ chịu tác động của tải trọng áp lực thủy tĩnh  $q$  nào đó.

Vấn đề đặt ra là: Tìm giá trị tải trọng  $q$  và mômen  $M$  tới hạn để cột trụ bắt đầu mất ổn định. Trạng thái của cột trụ tương ứng với trạng thái mất ổn định gọi là trạng thái tới hạn và tải trọng, mômen tương ứng gọi là tải trọng và mômen tới hạn.

### 1. NHỮNG PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

Hệ phương trình phi tuyến chung của bài toán ổn định tĩnh học của thanh trụ tròn đã được giới thiệu trong [1], ở đây tác giả khảo sát một trường hợp ổn định của thanh trụ mảnh trong môi trường không khí.

Vấn đề ổn định của thanh mềm ngập thẳng đứng trong nước đầu tiên được khảo sát trong [2] với điều kiện mật độ bằng mật độ của nước, phía trên của thanh chịu tác động của lực tập trung có đại lượng bằng trọng lượng của cột nước ngập trên đầu của thanh.

Tác giả đã tìm được độ dài tới hạn của thanh là:

$$L_{gh} = \frac{EI_0}{\rho_0 g I}, \quad (1.1)$$

ở đây:

$\rho_0$  - mật độ của nước,

$I_0$  - mômen quán tính của mặt cắt ngang của thanh,

$I$  - mô men quán tính của hình bao quanh hình mặt cắt ngang thanh.

Trong [3] đã nghiên cứu ổn định tĩnh học của thanh thẳng đứng ngập sâu trong nước chịu tác động của áp lực thủy tĩnh ở phía dưới thanh. Độ dài tới hạn của thanh được tìm ở dạng

$$L_{gh}^3 = \frac{7,84EI}{\nu F}, \quad (1.2)$$

ở đây  $\nu$  - trọng lượng của đơn vị độ dài thanh,  $F$  - diện tích mặt cắt ngang thanh.

Trụ tròn với diện tích mặt cắt  $f$  ngập thẳng đứng trong nước chịu tác động của tải trọng  $q$  nào đó ở phía dưới sẽ bị lệch khỏi vị trí thẳng đứng với khoảng cách là  $z(s)$ ,  $s$  là biến số theo chiều dài của trục trụ tính từ phía dưới.

Ở xấp xỉ ban đầu có thể coi  $z$  là đại lượng nhỏ, có thể bỏ qua các đại lượng  $z$  có bậc 2 trở lên. Mô hình toán học của bài toán trên được rút ra từ hệ phương trình động lực học chung của thanh tròn dài ngập trong nước biển [4].

Hệ phương trình để xác định độ lệch  $z$  và nội lực căng dọc theo trục  $T$  viết ở dạng:

$$EI \frac{d^4 Z}{ds^4} - [T + \rho_2 f_1 (d - s)] \frac{d^2 Z}{ds^2} - \bar{\rho} f_1 g \frac{dZ}{ds} = 0, \quad (1.3)$$

$$\frac{dT}{ds} = \rho_1 f_1 g. \quad (1.4)$$

Các phương trình (1.3), (1.4) với các điều kiện tại  $s = d$ :

$$M = \frac{m_0 g I}{f_1} \frac{dZ}{ds} = EI \frac{d^2 Z}{ds^2}, \quad \frac{d^3 Z}{ds^3} = 0, \quad (1.5)$$

tại  $s = 0$ :

$$Z = 0, \quad \frac{dZ}{ds} = 0,$$

dẫn đến kết quả [2].

Giả sử cột trụ ngập trong nước độ sâu  $d$  kể từ mặt nước, ta có lực thủy tĩnh tác động vào đáy dưới của cột trụ là:

$$T_0 = -\rho_2 f_1 g d. \quad (1.6)$$

Trong các phương trình trên  $E$  - môđun Yunga,  $I$  - mômen quán tính của mặt cắt cột trụ,  $\rho_2$  - mật độ của nước biển,  $\rho_1$  - mật độ của vật liệu cột trụ,  $g$  - gia tốc trọng trường

$$\bar{\rho} f_1 = f_1 (\rho_1 - \rho_2).$$

Từ phương trình (1.4) ta rút ra

$$T = \rho_1 f_1 g s + T_0. \quad (1.7)$$

Sau khi thay (1.6) vào (1.7) và sau đó vào (1.3) ta thu được phương trình

$$EI \frac{d^4 Z}{ds^4} - \frac{d}{dz} (\bar{\rho} f_1 g s \frac{dZ}{ds}) = 0. \quad (1.8)$$

Nghiệm của phương trình (1.8) thỏa mãn các điều kiện biên:

$$\begin{aligned} s = d: \quad M &= \alpha \frac{dZ}{ds}, & Z &= 0, \\ s = 0: \quad \frac{d^3 Z}{ds^3} &= 0, & \frac{d^2 Z}{ds^2} &= 0. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Giả sử  $\rho_2 > \rho_1$  từ (1.8), sau khi đã lấy tích phân theo biến  $s$  ta thu được phương trình

$$\frac{d^3 Z}{ds^3} + \lambda^2 S \frac{dZ}{ds} = 0, \quad \lambda^2 = \frac{\bar{\rho} f_1 g}{EI}. \quad (1.10)$$

Ta đưa vào biến mới  $u = dZ/ds$ ,  $s = d \cdot \xi$ , từ (1.10) ta thu được phương trình vi phân thuần nhất bậc 2

$$\frac{d^2 u}{d\xi^2} + \lambda_* \xi u = 0, \quad \lambda_*^2 = \frac{\bar{\rho} f_1 g d^3}{EI}. \quad (1.11)$$

Nghiệm của phương trình (1.11) thỏa mãn các điều kiện biên

$$\begin{aligned} \frac{du}{d\xi} &= \frac{\alpha d \cdot u(1)}{EI}, & \xi &= 1, \\ \frac{du}{d\xi} &= 0, & \xi &= 0, \end{aligned} \quad (1.12)$$

điều kiện  $d^2 u/d\xi^2 = 0$  khi  $\xi = 0$  được thỏa mãn tự động.

## 2. GIẢI BÀI TOÁN

Nghiệm của bài toán (1.11), (1.12) là

$$u(\xi) = -\frac{\alpha \cdot d \cdot u(1)}{EI \lambda_* J_{2/3}(\frac{2}{3} \lambda_*)} \cdot \xi^{1/2} \cdot J_{-1/3}(\frac{2}{3} \lambda_* \xi^{3/2}), \quad (2.1)$$

$J_\nu$  - hàm Bessel loại một.

Cho (2.1) thỏa mãn điều kiện biên tại  $\xi = 1$  ta thu được phương trình

$$EI \lambda_* J_{2/3}(\frac{2}{3} \lambda_*) + \alpha \cdot d \cdot J_{-1/3}(\frac{2}{3} \lambda_*) = 0, \quad (2.2)$$

đại lượng  $\alpha$  có thứ nguyên  $ML/T^2$  trong đó:  $T$  - đặc trưng cho thời gian,  $M$  - đặc trưng cho khối lượng,  $L$  - đặc trưng cho độ dài, nên ta có thể đặt:

$$\alpha = \beta \bar{\rho} f_1 g d^2$$

trong đó  $\beta$  là đại lượng không có thứ nguyên.

Biểu diễn hàm số  $J_\nu$  theo lũy thừa của  $\Lambda = \lambda_*^2$  và giới hạn ở tổng  $n$  số hạng, ta đưa việc giải phương trình (2.2) về giải phương trình đại số tuyến tính bậc  $n$ :

$$\Lambda(a_0 + a_1 \Lambda + \dots + a_n \Lambda^n) = 0, \quad (2.3)$$

ở đây:

$$a_0 = \frac{1}{\Gamma(5/3)} + \frac{\beta}{\Gamma(2/3)}, \dots, \quad (2.4)$$

$$a_n = \frac{(-1)^n}{n!3^{2n}} \left[ \frac{\beta}{\Gamma(\frac{2}{3} + k)} + \frac{1}{\Gamma(\frac{2}{3} + k + 1)} \right], \quad \Gamma(Z) = \frac{e^{-\nu Z}}{Z} \prod_{m=1}^{\infty} \frac{e^{Z/m}}{1 + \frac{Z}{m}}$$

Phương trình (2.3) được giải bằng phương pháp số. Chúng ta hãy xét nghiệm của phương trình (2.3) phụ thuộc vào hệ số  $\beta$  tức là  $\alpha$ , có nghĩa là tìm mối quan hệ giữa mômen đã cho ở đầu trên của cột trụ và độ dài tới hạn của cột trụ.

### 3. TRƯỜNG HỢP RIÊNG

a. Trường hợp  $0 \leq \beta \leq \beta_{gh}$  ( $\beta_{gh}$  xác định trong quá trình tính và có thể lấy xấp xỉ bằng 0,043)

Từ các quan điểm vật lý ta sẽ chọn nghiệm của (2.3) là  $\lambda_* = 0$ , có nghĩa là  $d_{gh} = 0$ . Điều đó được giải thích như sau: Với điều kiện liên kết khớp ở phía trên, dưới tác dụng của áp lực thủy tĩnh ở phía dưới của trụ, cột trụ sẽ mất ổn định. Do mômen cho trước ở phía trên thay đổi trong khoảng  $(0, M_{gh})$ , ( $M_{gh} = \alpha_{gh} \cdot \frac{dZ}{d\xi}$ ,  $\xi = 1$ ) không thể cản lại mômen của lực nổi tác dụng vào cột trụ, cột trụ sẽ xoay quanh điểm tựa phía trên của cột trụ cho đến khi nằm ngang trên mặt nước.

b. Trường hợp  $\beta > \beta_{gh}$

Nghiệm của (2.3) là  $\lambda_* > 0$  và phụ thuộc vào  $\beta$ , khi  $\beta$  tăng,  $\lambda_*$  cũng tăng theo, có nghĩa là  $d_{gh}$  cũng tăng theo, khi  $\beta \rightarrow \infty$  phương trình (2.3) trở thành

$$J_{-1/3}\left(\frac{2}{3}\lambda_*\right) = 0. \quad (2.5)$$

Phương trình (2.5) tương ứng với điều kiện thu được của trường hợp cho liên kết ngàm ở phía trên cột trụ [3].

Như vậy khi  $\beta$  tăng đến  $\infty$ , nghiệm của phương trình (2.3) tăng theo và giới hạn bởi nghiệm của phương trình (2.5). Điều này giải thích như sau: khi mômen đã cho ở phía trên tăng dần từ giá trị  $M_{gh}$  đã dần dần cản lại sự quay của cột trụ và mômen đó càng lớn, góc lệch của cột trụ so với chiều thẳng đứng càng nhỏ. Điều kiện cho mômen  $M$  đủ lớn tương ứng với điều kiện ngàm chặt ở phía trên.

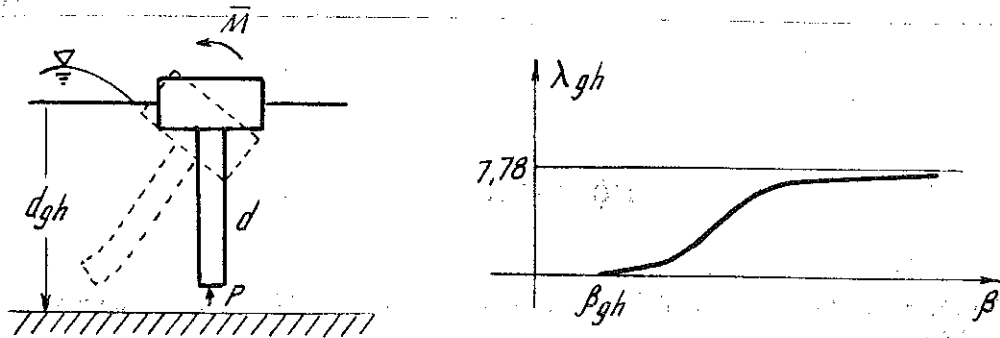
Như vậy dưới tác động của áp lực thủy tĩnh ở đáy dưới cột trụ, điều kiện ngàm chặt ở phía trên tạo cho cột trụ ổn định hơn điều kiện liên kết khớp. Điều đó tương ứng với điều kiện phao nổi có chứa dàn khoan tự nâng phải có trọng lượng lớn. Mối liên hệ giữa độ dài tới hạn của cột trụ  $d_{gh}$  với hệ số  $\beta$  hay mômen  $M$  được cho ở đồ thị Hình 1.

Tương tự như trên ta xét bài toán về ổn định tĩnh học của cột trụ thẳng đứng với các điều kiện như trên và phía dưới của cột trụ ngoài tác dụng của áp lực thủy tĩnh, còn có treo thêm một khối lượng  $m$ . Lời giải bằng số cho thấy khi  $m$  càng lớn, độ ổn định của cột trụ cũng càng tăng.

### KẾT LUẬN

Để đảm bảo cho chân đỡ dạng ống trụ tròn có độ dài  $d$  cho trước ngập trong nước yên tĩnh

được ổn định phải điều chỉnh mômen tác dụng vào phía trên hoặc kèm thêm một khối lượng  $m$  ở phía dưới của ống, việc lựa chọn các đại lượng đó phụ thuộc vào độ dài  $d$  ngập trong nước của ống.



Hình 1

Địa chỉ:  
Moskva, Viện Cơ Viện KHVN

Nhận ngày 23/3/1989

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. В. А. Светлиский . Нелинейные задачи статической устойчивости стержней. сб. "Расчеты на прочность", Вып. 27, М. 1986.
2. А. М. Гуськов. Об устойчивости гибких стержней, погруженных в тяжелую жидкость. Изв. ВУЗ, Машиностроение, №2, 1979.
3. В. Д. Ключников. Лекция по устойчивости деформируемых систем. М. 1986.
4. Фам Хы у Ты. Автореферат на соискание ученой степени К.М.Н., М. 1987.

### РЕЗЮМЕ

#### ОДИН СЛУЧАЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ САМАПОДЪЕМНОЙ ПЛАТФОРМЫ

В данной работе, на основе полученной системы уравнений динамики морских трубопроводов в [4], была исследована статическая устойчивость вертикального круглого стержня, погруженного в тяжелую жидкость под действием данного момента на верхнем конце и гидростатического давления на нижнем конце. Была получена зависимость критической длины стержня от данного момента и показан способ увеличения статической устойчивости стержня в данном случае.