

NÂNG CAO HIỆU QUẢ XÂY DỰNG GIẾNG KHOAN DẦU KHÍ TRÊN QUAN ĐIỂM ỔN ĐỊNH TRẠNG THÁI BỀN CƠ HỌC

TS. Nguyễn Văn Lợi¹, TSKH. Trần Xuân Đào²

TS. Võ Quốc Thắng¹, TS. Nguyễn Thị Hoài¹, ThS. Ngô Sỹ Thọ³

¹Đại học Dầu khí Việt Nam

²Liên doanh Việt - Nga "Vietsovpetro"

³Văn phòng Chính phủ

Email: loinv@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Với đặc thù riêng của các giếng khoan có tỷ lệ giữa chiều dài với đường kính thân giếng lên đến 12 - 20 nghìn lần tùy theo cấp đường kính, nên tính bền cơ học của bộ dụng cụ khoan có ảnh hưởng trực tiếp đến trạng thái và hiệu quả làm việc của chòong khoan trong quá trình phá hủy đất đá. Ngoài ra, hình dạng và quỹ đạo thân giếng cũng gây ra nhiều phức tạp trong công tác thi công xây dựng giếng. Trên cơ sở phát triển kết quả Lubinski, nhóm tác giả đưa ra cách tính tải trọng tới hạn xảy ra hiện tượng uốn dọc cho bộ dụng cụ khoan gồm liên kết các cần nặng và định tâm, cũng như tính toán và đánh giá về độ cứng chịu uốn của bộ dụng cụ khoan cho các cấp đường kính khác nhau nhằm làm cơ sở xây dựng bộ khoan cụ cho công tác thi công giếng khoan.

Từ khóa: Tải trọng tới hạn, độ cứng bộ khoan cụ, bền động học bộ khoan cụ, thiết kế giếng khoan.

1. Mở đầu

Để phá hủy đất đá, chòong khoan làm việc dưới một tải trọng dọc trực tương ứng với độ bền cơ học của đất đá khoan qua. Việc tạo tải trọng dọc trực được thực hiện trên cơ sở trọng lượng riêng của các thiết bị (gồm các đoạn ống có đường kính và bề dày thành khác nhau) được lắp đặt ngay trên chòong. Trong toàn bộ chuỗi cần khoan được chia ra thành 2 đoạn có ứng suất lực khác dấu, phần trên của chuỗi cần khoan chịu ứng suất kéo, còn phần dưới chịu ứng suất nén. Trong đoạn cần khoan chịu nén, với giá trị tải trọng dọc trực lớn sẽ làm bộ dụng cụ khoan phần trên chòong khoan bị biến dạng uốn hình sin. Nếu bộ dụng cụ khoan thường xuyên làm việc trong điều kiện này sẽ dẫn đến trạng thái làm việc của chòong khoan mất tính ổn định và bền cơ học, hiệu quả phá hủy đất đá cũng bị suy giảm. Vấn đề tính toán và xác định ứng suất tới hạn uốn, cũng như độ cứng chịu uốn của thiết bị đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế và xây dựng bộ khoan cụ đảm bảo tính bền cơ học và trạng thái ổn định cơ học của hệ thống động học trong quá trình phá hủy đất đá. Một số nghiên cứu về tính ổn định và bền cơ học của chòong khoan dựa trên Lý thuyết tai biến, Lý thuyết rẽ nhánh, Nguyên lý năng lượng cơ học riêng có thể được tìm thấy trong các công bố gần đây [1 - 3].

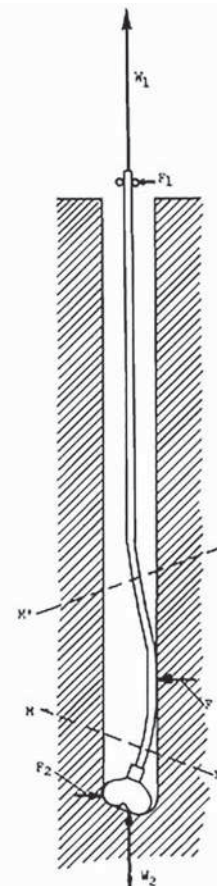
2. Tải trọng tới hạn cho hiện tượng uốn dọc của cần khoan

2.1. Mô hình Lubinski

Nhóm tác giả sử dụng mô hình Lubinski [4] để tính toán tải trọng tới hạn lên chòong khoan cho hiện tượng uốn dọc của hệ thống cần khoan.

Giả sử hệ thống cần khoan là một chuỗi ống liên tiếp không có chi tiết nối, và hai đầu của hệ thống cần khoan được xem là những khớp bản lề. Do đó, phản lực ở hai đầu hệ thống cần khoan sẽ có các

thành phần theo phương ngang và phương dọc. Khi hệ thống cần khoan bị uốn dọc, sẽ xuất hiện một phản lực nữa tại điểm tiếp xúc giữa thành hệ và hệ thống cần khoan. Hệ ngoại lực tác dụng lên hệ thống cần khoan được thể hiện trong Hình 1:



Hình 1. Ngoại lực tác dụng lên chuỗi cần khoan [4]

- Lực hướng lên trên W_1 là phản lực tại khớp bản lề trên đỉnh.
- Lực hướng lên trên W_2 là thành phần lực dọc của phản lực do đáy lỗ khoan tác dụng lên hệ thống cần khoan, đây chính là tải trọng lên chòong khoan.
- Lực F_2 là thành phần lực ngang của đáy lỗ khoan tác dụng lên hệ thống cần khoan.
- Lực ngang F_1 là phản lực của ổ trục tác dụng lên hệ thống cần khoan.
- Lực ngang F là phản lực của thành hệ lên hệ thống cần khoan khi nó bị uốn dọc.
- Hai lực không xuất hiện ở Hình 1 là trọng lượng của hệ thống cần khoan (lực dọc hướng xuống dưới) và lực nổi (lực dọc hướng lên trên), cả hai lực trên đều tác dụng vào trọng tâm của hệ thống cần khoan. Ảnh hưởng của lực nhớt tác dụng bởi dung dịch khoan và lực đẩy của tia nước ở chòong khoan được bỏ qua vì rất nhỏ so với tải trọng tác dụng lên chòong khoan.

Chọn trục tọa độ OXY như Hình 2, trong đó O là điểm trung hòa (tức là điểm trên chuỗi cần khoan mà tại đó lực nén và lực kéo căng bằng 0). Trục X và Y được tính theo đơn vị feet (ft). Moment uốn của hệ thống cần khoan có thể được biểu diễn bằng phương trình:

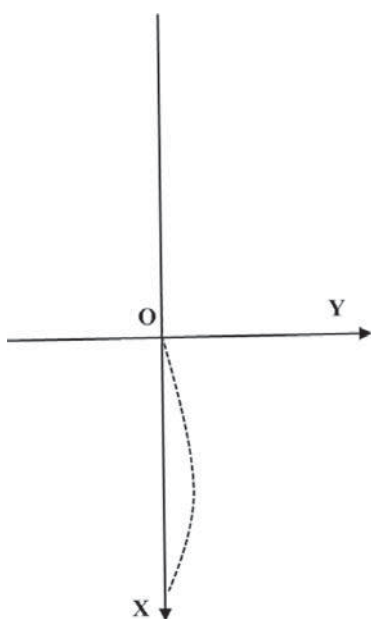
$$M = EI \frac{d^2 Y}{dX^2} \quad (1)$$

Trong đó:

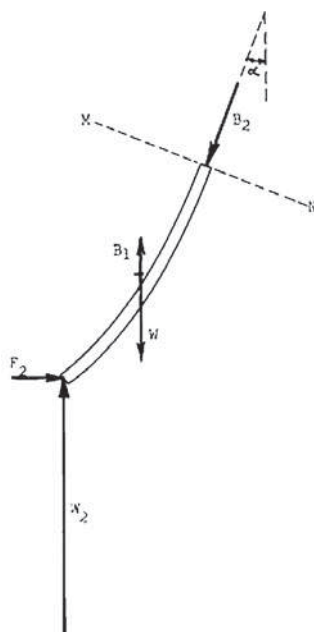
M: Moment uốn (ft.lb);

E: Module đàn hồi Young của thép (lb/ft²);

I: Moment quán tính của mặt cắt ngang (ft⁴).



Hình 2. Hệ tọa độ [4]



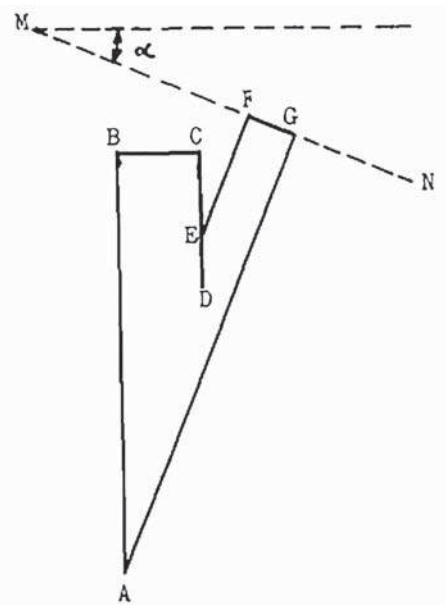
Hình 3. Hệ ngoại lực tác dụng lên đoạn cần khoan dưới mặt cắt MN [4]

Lực cắt, được định nghĩa là tốc độ biến thiên của moment uốn, đạt được bằng cách đạo hàm phương trình (1) theo X:

$$F_S = EI \frac{d^3 Y}{dX^3} \quad (2)$$

Lực cắt của mặt cắt ngang nào đấy dọc theo hệ thống cần khoan, ví dụ mặt cắt MN trong Hình 1, có thể được xác định bằng phương trình (2). Các lực tác dụng lên đoạn cần khoan nằm dưới mặt cắt MN được biểu diễn trong Hình 3. Trọng lượng của hệ thống cần khoan dưới mặt cắt MN được biểu diễn bằng vector W và lực đẩy nổi tác dụng bởi dung dịch khoan lên cần được biểu diễn bởi vector B_1 . Áp lực thủy tĩnh B_2 không tác dụng lên mặt cắt MN nên thành phần này bị lược bỏ từ lực đẩy nổi B_1 để đạt được lực nổi thực. Bởi đoạn cần khoan đang xét ở trạng thái cân bằng, nên tổng các lực bằng 0 (Hình 4). Trên Hình 4, AB đại diện cho tải trọng lên chòong khoan, BC là thành phần ngang F_2 của phản lực của đáy lỗ khoan tác dụng lên chòong, CD là khối lượng W của đoạn cần khoan dưới mặt cắt MN, DE là lực đẩy nổi B_1 và EF là lực đẩy nổi B_2 .

Đầu tiên, xét trường hợp uốn dọc nhưng cần khoan vẫn chưa tiếp xúc với thành hệ, do đó lực $F = 0$. Trong Hình 4, lực FA là phản



Hình 4. Hệ vector lực của các lực tác dụng lên đoạn cần khoan dưới mặt cắt MN [4]

lực của đoạn cần khoan phía trên mặt cắt MN tác dụng lên đoạn phía dưới, lực này có hai thành phần: lực cắt FG và lực nén hay lực kéo GA. Phương trình vector các lực:

$$AB + BC + CE + EF + FG + GA = 0$$

Để xác định lực cắt FG, ta chiếu tất cả các lực lên trục MN:

$$AB\sin\alpha - BC\cos\alpha - CE\sin\alpha - FG = 0$$

$$\Rightarrow FG = (AB - CE)\sin\alpha - BC\cos\alpha$$

Ở điều kiện đang xét, góc α rất nhỏ, do đó ta có thể xem $\cos\alpha = 1$ và $\sin\alpha = \tan\alpha$. Phương trình trên trở thành:

$$F_s = FG = (AB - CE)\tan\alpha - BC \quad (3)$$

Hệ số lực đẩy nổi được định nghĩa bằng:

$$B.F = 1 - \frac{\rho_{\text{đdk}}}{\rho_t}$$

Trong đó:

$\rho_{\text{đdk}}$: Tỷ trọng riêng của dung dịch khoan;

ρ_t : Tỷ trọng riêng của thép.

Gọi p là trọng lượng đơn vị của hệ thống cần khoan trong dung dịch (đơn vị lb/ft), đại lượng này bằng tích của trọng lượng thật của hệ thống cần khoan và hệ số lực đẩy nổi B.F. Gọi X_1 và X_2 lần lượt là tọa độ theo trục X của hai điểm đầu mút của hệ thống cần khoan, ta có:

$$X_1 = -\frac{W_1}{p}; \quad X_2 = \frac{W_2}{p} \quad (4)$$

Thay phương trình (4) vào phương trình (3) và thay $\tan\alpha = -\frac{dY}{dX}$, ta có:

$$F_s = [W_2 - p(X_2 - X)]\tan\alpha - F_2 = -pX\frac{dY}{dX} - F_2 \quad (5)$$

Thay phương trình (5) vào phương trình (2):

$$EI\frac{d^3Y}{dX^3} + pX\frac{dY}{dX} + F_2 = 0 \quad (6)$$

Phương trình (6) là phương trình vi phân của hiện tượng uốn dọc cần khoan.

$$\text{Gọi: } X = mx; \quad Y = my \quad (7)$$

Trong đó:

m là hằng số sao cho $m^3 = \frac{EI}{p}$, đơn vị feet. Do đó:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{dy}{dx} \quad (8)$$

$$\frac{d^2Y}{dX^2} = \frac{1}{m}\frac{d^2y}{dx^2} \quad (9)$$

$$\frac{d^3Y}{dX^3} = \frac{1}{m^2}\frac{d^3y}{dx^3} \quad (10)$$

Thay các phương trình (7), (8) và (10) vào phương trình (6), ta có:

$$\frac{d^3y}{dx^3} + \frac{p}{EI}m^3x\frac{dy}{dx} + \frac{F_2}{EI}m^2 = 0 \quad (11)$$

$$\text{Gọi: } c = \frac{F_2}{pm} \quad (12)$$

Thay (12) vào (11):

$$\frac{d^3y}{dx^3} + x\frac{dy}{dx} + c = 0 \quad (13)$$

Thay (9) vào (1):

$$M = pm^2\frac{d^2y}{dx^2} \quad (14)$$

Phương trình (7), (8), (12) và (14) chỉ ra rằng $x, y, \frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}$ và C là những đại lượng không thứ nguyên. Do đó, các phân tích chứa các đại lượng này sẽ không phụ thuộc vào tính chất của hệ thống cần khoan và dung dịch khoan.

$$\text{Gọi: } z = \frac{dy}{dx} \quad (15)$$

Thay phương trình (15) vào phương trình (13), phương trình vi phân của hiện tượng uốn dọc cần khoan trở thành:

$$\frac{d^2z}{dx^2} + xz + c = 0 \quad (16)$$

Nghiệm z ở phương trình trên có thể được viết dưới dạng chuỗi lũy thừa:

$$z = \sum_{n=0}^{n=\infty} a_n x^n$$

Phương trình (16) do đó sẽ có dạng:

$$\sum_{n=0}^{\infty} n(n-1)a_n x^{n-2} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^{n+1} + c = 0 \quad (17)$$

Nghiệm của phương trình trên:

$$y = aS(x) + bT(x) + cU(x) + g \quad (18)$$

$$\frac{dy}{dx} = aF(x) + bG(x) + cH(x) \quad (19)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = aP(x) + bQ(x) + cR(x) \quad (20)$$

g là hằng số

$$S(x) = x \left[1 - \frac{x^3}{2.3.4} + \frac{x^6}{2.3.5.6.7} - \frac{x^9}{2.3.5.6.8.10} + \dots \right]$$

$$T(x) = x^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{x^3}{3.4.5} + \frac{x^6}{3.4.6.7.8} - \frac{x^9}{3.4.6.7.9.11} + \dots \right]$$

$$U(x) = -\frac{x^3}{2} \left[\frac{1}{3} - \frac{x^3}{4.5.6} + \frac{x^6}{4.5.7.8.9} - \frac{x^9}{4.5.7.8.10.11.12} + \dots \right]$$

$$F(x) = \left[1 - \frac{x^3}{2.3} + \frac{x^6}{2.3.5.6} - \frac{x^9}{2.3.5.6.8.9} + \dots \right]$$

$$G(x) = x \left[1 - \frac{x^3}{3.4} + \frac{x^6}{3.4.6.7} - \frac{x^9}{3.4.6.7.9.10} + \dots \right]$$

$$H(x) = -\frac{x^2}{2} \left[1 - \frac{x^3}{4.5} + \frac{x^6}{4.5.7.8} - \frac{x^9}{4.5.7.8.10.11} + \dots \right]$$

$$P(x) = -\frac{x^2}{2} \left[1 - \frac{x^3}{3.5} + \frac{x^6}{3.5.6.8} - \frac{x^9}{3.5.6.8.9.11} + \dots \right]$$

$$Q(x) = \left[1 - \frac{x^3}{3} + \frac{x^6}{3.4.6} - \frac{x^9}{3.4.6.7.9} + \dots \right]$$

$$R(x) = -x \left[1 - \frac{x^3}{2.4} + \frac{x^6}{2.4.5.7} - \frac{x^9}{2.4.5.7.8.10} + \dots \right]$$

Gọi x_1 và x_2 lần lượt là giá trị của tọa độ x của các điểm nút phía trên và phía dưới của hệ thống cần khoan với tọa độ gốc là điểm trung hòa. Gọi P_1, Q_1, R_1, S_1 là giá trị của $P(x), Q(x), R(x), S(x)$, khi $x = x_1$ và P_2, Q_2, R_2, S_2 là giá trị của $P(x), Q(x), R(x), S(x)$ khi $x = x_2$. Ở hai đầu nút của hệ thống cần khoan, moment uốn bằng 0, do đó các phương trình (14) và (20) có dạng:

$$aP_1 + bQ_1 + cR_1 = 0 \quad (21)$$

$$aP_2 + bQ_2 + cR_2 = 0 \quad (22)$$

Ở hai đầu nút tọa độ $y = 0$ nên phương trình (18) cho ta:

$$aS_1 + bT_1 + cU_1 + g = 0$$

$$aS_2 + bT_2 + cU_2 + g = 0$$

$$\Rightarrow a(S_1 - S_2) + b(T_1 - T_2) + c(U_1 - U_2) = 0 \quad (23)$$

Tọa độ x_1 và x_2 tìm được bằng cách giải các phương trình (21), (22) và (23), tức là giải định thức sau:

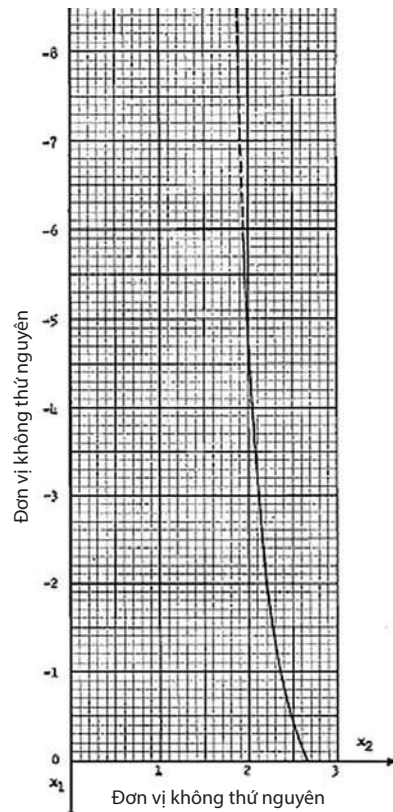
$$\begin{vmatrix} P_1 & Q_1 & R_1 \\ P_2 & Q_2 & R_2 \\ S_1 - S_2 & T_1 - T_2 & U_1 - U_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (24)$$

Bằng phương pháp đúng đắn, phương trình (24) được giải để tìm x_1 và x_2 . Những giá trị này được biểu diễn trong Hình 5.

Kết quả Hình 5 cho thấy khi giá trị tuyệt đối của x_1 nhỏ, tức là khi lỗ khoan rất nông, cần một tải trọng lớn hơn lên chông để cần khoan bị uốn dọc. Khi lỗ khoan sâu hơn, giá trị tới hạn của tải trọng lên chông giảm xuống đạt tới giá trị tiệm cận ở giá trị nào đấy. Trong điều kiện khoan thực tế, x_1 rất lớn và giá trị x_2 sẽ bằng giới hạn tiệm cận. Hình 5 cho thấy khi sai số có thể bỏ qua, giới hạn tiệm cận đạt được khi $x_1 = -6$ và giá trị tương ứng của $x_2 = 1,94$, đây là điều kiện tới hạn của hiện tượng uốn dọc bậc 1.

Vì $m^3 = \frac{EI}{p}$, chiều dài của một đơn vị không thứ nguyên được xác định bằng:

$$m = \sqrt[3]{\frac{EI}{p}}$$



Hình 5. Điều kiện tới hạn bậc 1 [4]

Suy ra trọng lượng (đơn vị pound) của chiều dài hệ thống cần khoan tương đương với một đơn vị không thứ nguyên:

$$mp = \sqrt[3]{EI p^2}$$

Nhân mp với 1,94, ta sẽ có tải trọng tới hạn lên chông khoan của hiện tượng uốn dọc cần khoan bậc 1, tức là:

$$F_{Cri} = 1,94 \sqrt[3]{EI p^2} \quad (25)$$

Trong đó đơn vị tính của các đại lượng là: E (lb/ft²); I (ft⁴); p (lb/ft) và F_{Cri} (lb).

Trường hợp bộ khoan cụ có các chi tiết nối giữa cần khoan và cần nặng (với đường kính khác nhau) thì tải trọng tới hạn lên chông khoan của hiện tượng uốn dọc được tính theo công thức ([4]):

$$F_{Cri} = 1,94 \sqrt[3]{EI p_p^2} + L_c (p_c - p_p) \quad (26)$$

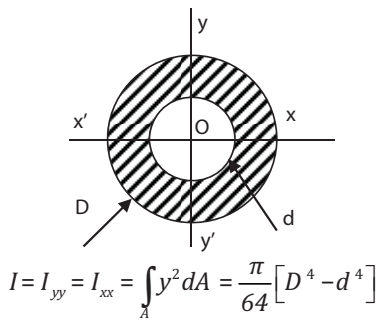
Trong đó:

p_c, p_p : Lần lượt là trọng lượng riêng của cần nặng và cần khoan;

L_c : Tổng chiều dài của cần nặng.

2.2. Tính toán cho số liệu cụ thể

Trong công thức (25) và (26) thì E - Module đàn hồi là đại lượng đã biết; I - Moment quán tính trục (cm⁴) được tính toán theo công thức sau [6]:



$$R = \frac{E_1 J_1}{E_2 J_2}$$

Trong đó:

E: Module đàn hồi (Mpa);

J: Moment chống uốn (cm³)

Giá trị moment chống uốn được tính theo công thức sau:

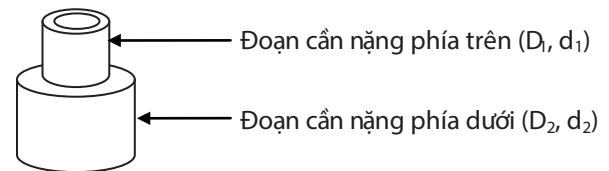
$$J = \frac{I_0}{V} = \frac{\pi D^4 - d^4}{16 D}$$

Trong đó:

D: Đường kính ngoài (cm);

d: Đường kính trong (cm).

Trường hợp liên kết giữa 2 cần nặng có đường kính khác nhau:



Giá trị độ cứng uốn R của liên kết này được xác định theo công thức sau:

$$R = \frac{E_1 J_1}{E_2 J_2} = \frac{d_1 D_2^4 - D_1^4}{D_2 d_2^4 - d_1^4} \quad (27)$$

Đối với bộ khoan cụ có sử dụng các định tâm, giá trị độ cứng biểu kiến được tính toán theo các công thức sau [5]:

Bộ khoan cụ sử dụng một định tâm:

$$R_{td} = \frac{1}{L^2} \left\{ \frac{m}{\Delta} [L_1(L - 0,5L_1) + 0,5(L - L_1 - L_k)^2] + \frac{m_k}{\Delta_k} L_k(L - L_1 - 0,5L_k) \right\} \quad (28)$$

Bộ khoan cụ sử dụng hai định tâm:

$$R_{td} = \frac{1}{L^2} \left\{ \frac{m}{\Delta} [L_1(L - 0,5L_1) + L_2(L - 0,5L_2 - L_1 - L_k) + \frac{1}{2}(L - L_2 - L_1 - 2L_k)^2] + \frac{2m_k}{\Delta_k} L_k(L - 0,5L_2 - L_1 - L_k) \right\} \quad (29)$$

Bộ khoan cụ sử dụng ba định tâm:

$$R_{td} = \frac{1}{L^2} \left\{ \frac{m}{\Delta} [L_1(L - 0,5L_1) + L_2(L - 0,5L_2 - L_1 - L_k) + L_3(L - 0,5L_3 - L_2 - L_1 - 2L_k) + \frac{1}{2}(L - L_3 - L_2 - L_1 - 3L_k)^2] + \frac{3m_k}{\Delta_k} L_k(L - 0,5L_3 - L_2 - L_1 - L_k) \right\} \quad (30)$$

Trong đó:

m, m_k: Hệ số tương ứng cho cần nặng và định tâm;

Xét khoảng khoan từ 4.596m đến 4.775m trong thân giếng thẳng đứng. Tỷ trọng dung dịch là 1,05g/cm³. Bộ khoan cụ gồm:

- Chông khoan đường kính 165,1mm, chiều dài 0,2m, (trọng lượng 15kg);
- Đầu nối chuyển tiếp đường kính ngoài 120mm, chiều dài 0,8m;
- Cần nặng đường kính 120,65mm, chiều dài 266,0m (trọng lượng riêng trong không khí: 47lb/ft);
- Đầu nối 127mm, chiều dài 0,41m;
- Cần khoan 127mm - phần còn lại (trọng lượng riêng trong không khí: 19,5lb/ft).

Ta có: E = 4,176 × 10⁶ (lb/ft²) và I = 6,87 × 10⁻⁴ (ft⁴).

Để tính p_p, p_c trước tiên ta cần tính hệ số Bouyancy (BF).
1,05 (g/cm³) = 1,05 x (1/454) lb : (1/30,48)³ ft³ = 65,49 (lb/ft³)

$$BF = (489 - 65,49) : 489 = 0,866.$$

Từ đó suy ra: p_p = 16,89 (lb/ft), p_c = 40,7 (lb/ft).

Do đó ta thu được: F_{cr} = 21017,69 (lb) ≈ 9.458kgf.

Thực tế khi khoan trong móng với chông khoan có đường kính 165,1mm, giá trị tải trọng dọc trục thường sử dụng từ 10.000 - 14.000kgf. Giá trị này lớn hơn nhiều so với giá trị tải trọng tới hạn tính toán ở trên cho thấy bộ dụng cụ khoan sẽ bị biến dạng, đây chính là nguyên nhân cản trở hiệu quả làm việc của chông khoan. Để khắc phục hiện tượng này, cần phải gia cố bộ dụng cụ khoan bằng các định tâm với đường kính tối đa bằng 165mm sao cho F_{cr} nhỏ nhất cũng phải bằng 14.000kgf. Hay nói cách khác là độ cứng chịu uốn của bộ khoan cụ mới phải gấp 1,5 lần so với bộ dụng cụ khoan chỉ với cần nặng đường kính 120,65mm.

3. Đánh giá độ cứng chịu uốn của bộ khoan cụ có lắp đặt các định tâm

Độ cứng chịu uốn của thành phần bộ khoan cụ được xác định như sau:

Δ, Δ_k : Khe hở tương ứng giữa cần nặng và định tâm với đường kính tương đương chông khoan;

L_1, L_2 : Khoảng cách tương ứng từ chông khoan đến định tâm và giữa hai định tâm với nhau;

L_k : Chiều dài của định tâm.

Các giá trị m, m_k được cho theo Bảng 1.

Trong trường hợp sử dụng bộ khoan cụ với chông khoan có đường kính 490mm và cần nặng 229mm thì giá trị độ cứng biểu kiến nhỏ nhất $R_{td, min} = 42$. Đối với bộ khoan cụ có chông khoan đường kính 190,5mm và cần nặng vuông tính theo đường chéo bằng 189,5mm thì giá trị độ cứng biểu kiến lớn nhất $R_{td, max} = 4.556$. Như vậy đánh giá độ cứng chịu uốn tương đương quy đổi của bộ khoan cụ theo thang điểm 10 bậc thì giá trị $R = 1$ sẽ tương ứng với giá trị độ cứng biểu kiến nhỏ nhất ($R_{td, min} = 42$), còn

giá trị $R = 10$ tương ứng với độ cứng biểu kiến lớn nhất ($R_{td, max}$), như vậy để quy đổi độ cứng biểu kiến của bất kỳ bộ khoan cụ nào sang thang điểm 10 bậc sẽ được thực hiện tính toán theo công thức sau [5]:

$$R = 0,92 + 1,99 \times 10^{-3} R_{td}$$

Trong lý thuyết cũng như thực tế thi công khoan các giếng khoan, thường có sử dụng một khái niệm về đường kính "cho phép đi qua" của giếng, tức là khả năng thả cột ống chống đi qua một cách suôn sẻ và bằng một nửa tổng đường kính của chông khoan và cần nặng $((D_c + D_{cn})/2)$ của bộ khoan cụ sử dụng trong khi khoan hoặc khi chuẩn bị thân giếng. Tỷ lệ giữa giá trị đường kính cho phép đi qua với đường kính đầu nối ống chống được gọi là hệ số cho phép đi qua, ký hiệu là K_{dq} . Nhưng với khái niệm độ cứng chịu uốn của bộ khoan cụ và cột ống chống như đã trình bày ở trên thì khả năng thả cột

Bảng 1. Các giá trị của hệ số tương ứng cho cần nặng và định tâm

Đường kính ngoài turbine (động cơ đáy) (mm)	240	215	195	172
Giá trị m (m)	21,4	19,9	18,0	17,2

Cần nặng (mm)	299	273	254	229	203	178	165	146	120	108
Giá trị m (m)	25,4	24,1	23,1	21,9	20,3	18,5	17,8	16,4	14,5	13,0

Cần nặng vuông tính theo đường chéo (mm)	379,4	309,6	277,8	268,3	242,9	214,3	189,5	138,7
Giá trị m (m)	27,9	25,7	23,8	23,9	21,8	20,0	16,4	13,4

Đường kính định tâm tương đương (mm)	394	320	295	269	243	214	190
Giá trị m (m)	31,2	27,0	25,5	23,9	22,2	21,0	19,3

Bảng 2. Giá trị đánh giá độ cứng tương đương quy đổi của bộ khoan cụ với một định tâm trên chông khoan

Đường kính chông khoan (mm)	Đường kính cần nặng (mm)	Tỷ lệ đường kính định tâm với đường kính chông khoan			
		k = 1,000	k = 0,996	k = 0,990	k = 0,980
490,0	254,0	1,752	1,319	1,159	1,076
490,0	229,0	1,744	1,312	1,152	1,069
445,0	254,0	1,707	1,322	1,170	1,088
445,0	229,0	1,697	1,312	1,160	1,078
393,7	229,0	1,648	1,318	1,174	1,094
393,7	203,0	1,635	1,305	1,162	1,082
393,7	178,0	1,626	1,296	1,153	1,073
311,1	229,0	2,171	1,487	1,276	1,175
311,1	203,0	2,134	1,449	1,239	1,137
295,3	203,0	2,110	1,463	1,256	1,154
295,3	178,0	2,081	1,434	1,227	1,125
295,3	165,0	2,071	1,423	1,216	1,115
215,9	178,0	2,043	1,582	1,395	1,294
215,9	165,0	1,976	1,515	1,328	1,227
215,9	146,0	1,923	1,462	1,275	1,173
165,1	120,0	1,843	1,499	1,330	1,230
139,7	120,0	1,983	1,695	1,538	1,439
139,7	108,0	1,837	1,550	1,393	1,294

Bảng 3. Giá trị đánh giá độ cứng tương đương quy đổi của bộ khoan cụ với hai định tâm trên chòong và cách chòong khoan một khoảng L2 (m)

Đường kính chòong khoan (mm)	Đường kính cần nặng (mm)	Khoảng cách giữa 2 định tâm (m)	Tỷ lệ đường kính định tâm với đường kính chòong khoan			
			k = 1,000	k = 0,996	k = 0,990	k = 0,980
490	254	18.0	2,467	1,552	1,275	1,130
490	229	18.0	2,463	1,548	1,271	1,127
445,0	254	18.0	2,363	1,544	1,279	1,137
445,0	229,0	18.0	2,358	1,539	1,274	1,133
393,7	229,0	18.0	2,242	1,529	1,281	1,142
393,7	203,0	18.0	2,236	1,523	1,275	1,136
393,7	178,0	18.0	2,231	1,519	1,270	1,132
311,1	229,0	18.0	3,164	1,741	1,376	1,200
311,1	203,0	18.0	3,147	1,723	1,359	1,182
311,1	178,0	18.0	3,136	1,712	1,348	1,171
295,3	203,0	18.0	3,078	1,727	1,368	1,192
295,3	178,0	18.0	3,064	1,714	1,355	1,178
295,3	165,0	18.0	3,059	1,709	1,350	1,173
215,9	178,0	18.0	2,756	1,770	1,445	1,270
215,9	165,0	18.0	2,724	1,738	1,414	1,238
215,9	146,0	18.0	2,699	1,713	1,388	1,213
165,1	120,0	18.0	2,476	1,718	1,425	1,252
139,7	120,0	18.0	2,450	1,804	1,532	1,360
139,7	108,0	18.0	2,380	1,735	1,462	1,291

Bảng 4. So sánh kết quả về khả năng cho phép cột ống chống đi qua theo cách tính thông thường và theo quan điểm độ cứng tương đương với bộ khoan cụ không sử dụng định tâm (hệ số cho phép đi qua K_{dq})

Đường kính chòong khoan (mm)	Đường kính cần nặng (mm)	Đường kính ống chống và đầu nối (mm)	K_{dq} theo đường kính chòong khoan và cần nặng	Đánh giá độ cứng tương đương		K_{dq} theo giá trị R
				Ống chống	Bộ khoan cụ không sử dụng định tâm	
490,0	254,0	426/451	0,82	1,52	1,07	0,70
490,0	229,0	426/451	0,80	1,52	1,05	0,69
445,0	254,0	340/356,1	0,98	1,53	1,11	0,73
445,0	229,0	340/356,1	0,95	1,53	1,07	0,70
393,7	229,0	324/351	0,89	1,37	1,05	0,77
393,7	203,0	324/351	0,85	1,37	1,03	0,75
393,7	178,0	324/351	0,82	1,37	1,00	0,73
311,1	229,0	245/270	1,00	1,44	1,18	0,82
311,1	203,0	245/270	0,95	1,44	1,10	0,76
295,3	229,0	245/270	0,97	1,44	1,24	0,86
295,3	203,0	245/270	0,92	1,44	1,14	0,79
244,5	203,0	194/216	1,04	1,35	1,40	1,04
215,9	178,0	168/188	1,05	1,34	1,40	1,05
190,5	146,0	146/166	1,01	1,33	1,28	0,96
165,1	120,0	139,7/149,6	0,95	1,27	1,74	1,37
139,7	120,0	114/133	0,98	1,54	1,62	1,05

ống chống đi qua trong thân giếng không còn gói gọn trong một khái niệm là đường kính nữa. Mà bản chất vấn đề đã được nâng lên đó là khả năng uốn cong của cột ống trong thân giếng. Trong trường hợp này, khi đề cập đến các giá trị tính toán và đánh giá độ cứng chịu uốn của bộ khoan cụ và ống chống thì hệ số cho phép đi qua K_{dq} phải được xác định bằng tỷ lệ giữa giá trị độ cứng R của bộ khoan cụ với giá trị độ cứng của cột ống chống.

Như vậy, có thể so sánh về khả năng thả cột ống chống đi qua một cách suôn sẻ trong lòng giếng trên cơ sở khái niệm đường kính cho phép đi qua và độ cứng chịu uốn của bộ khoan cụ bằng cách tính toán giá trị K_{dq} . Theo tính toán, giá trị hệ số K_{dq} nếu lớn hơn 1 thì khả năng thả cột ống chống xuống tới chiều sâu thiết kế là khả thi, giá trị này càng cao thì tính khả thi càng lớn, khả năng gặp sự cố trong những trường hợp

Bảng 5. So sánh kết quả về khả năng cho phép cột ống chống đi qua theo cách tính thông thường và theo quan điểm độ cứng tương đương với bộ khoan cụ có sử dụng một định tâm lắp trên chòong khoan (hệ số cho phép đi qua K_{dq})

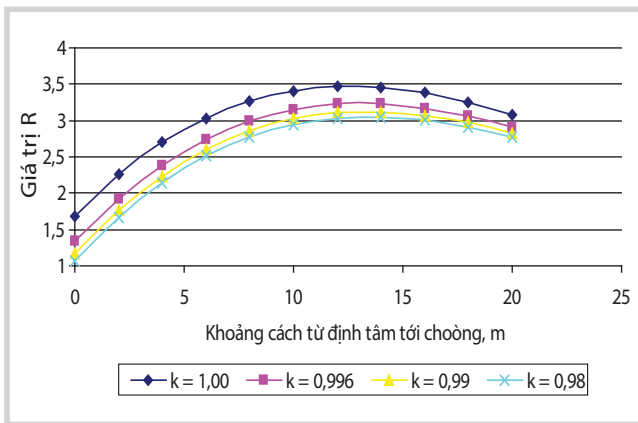
Đường kính chòong khoan (mm)	Đường kính cần nặng (mm)	Đường kính ống chống và đầu nối (mm)	K_{dq} theo đường kính chòong khoan và cần nặng	Đánh giá độ cứng tương đương		K_{dq} theo giá trị R
				Ống chống	Bộ khoan cụ sử dụng 1 định tâm	
490,0	254,0	426/451	0,82	1,52	1,752	1,15
490,0	229,0	426/451	0,80	1,52	1,744	1,14
445,0	254,0	340/356,1	0,98	1,53	1,707	1,11
445,0	229,0	340/356,1	0,95	1,53	1,697	1,11
393,7	229,0	324/351	0,89	1,37	1,648	1,20
393,7	203,0	324/351	0,85	1,37	1,635	1,19
393,7	178,0	324/351	0,82	1,37	1,626	1,18
311,1	229,0	245/270	1,00	1,44	2,171	1,51
311,1	203,0	245/270	0,95	1,44	2,134	1,48
295,3	178,0	245/270	0,91	1,44	2,110	1,48
295,3	203,0	245/270	0,92	1,44	2,081	1,45
295,3	178,0	245/270	0,88	1,44	2,071	1,44
215,9	178,0	178/188	1,05	1,47	1,976	1,34
215,9	165,0	178/188	1,01	1,47	1,923	1,31
165,1	120,0	139,7/149,6	0,95	1,27	1,843	1,45
139,7	120,0	114/133	0,98	1,34	1,983	1,48

Bảng 6. So sánh kết quả về khả năng cho phép cột ống chống đi qua theo cách tính thông thường và theo quan điểm độ cứng tương đương với bộ khoan cụ sử dụng hai định tâm cách nhau 18m (hệ số cho phép đi qua K_{dq})

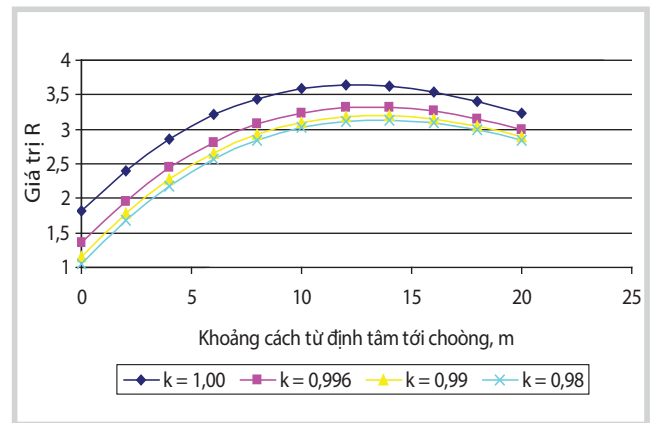
Đường kính chòong khoan (mm)	Đường kính cần nặng (mm)	Đường kính ống chống và đầu nối (mm)	K_{dq} theo đường kính chòong khoan và cần nặng	Đánh giá độ cứng tương đương		K_{dq} theo giá trị R
				Ống chống	Bộ khoan cụ sử dụng 2 định tâm	
490,0	254,0	426/451	0,82	1,52	2,467	1,62
490,0	229,0	426/451	0,80	1,52	2,463	1,62
445,0	254,0	340/356,1	0,98	1,53	2,363	1,54
445,0	229,0	340/356,1	0,95	1,53	2,358	1,54
393,7	229,0	324/351	0,89	1,37	2,242	1,64
393,7	203,0	324/351	0,85	1,37	2,236	1,63
393,7	178,0	324/351	0,82	1,37	2,231	1,63
311,1	229,0	245/270	1,00	1,44	3,164	2,20
311,1	203,0	245/270	0,95	1,44	3,147	2,18
311,1	178,0	245/270	0,91	1,44	3,136	2,24
295,3	203,0	245/270	0,92	1,44	3,078	2,14
295,3	178,0	245/270	0,88	1,44	3,064	2,13
295,3	165,0	245/270	0,85	1,44	3,059	2,12
215,9	178,0	178/188	1,05	1,47	2,756	1,87
215,9	165,0	178/188	1,01	1,47	2,724	1,85
215,9	146,0	178/188	0,96	1,47	2,699	1,84
165,1	120,0	139,7/149,6	0,95	1,27	2,475	1,95
139,7	120,0	114/133	0,98	1,54	2,450	1,59
139,7	108,0	114/133	0,93	1,54	2,380	1,55

này là ít nhất. Khi hệ số K_{dq} nhỏ hơn 1, không nên thả cột ống chống nếu không doa và thông lại thân giếng bằng bộ khoan cụ có độ cứng tương đương lớn hơn, vì nếu thả cột ống chống trong trường hợp này sẽ gặp sự cố kẹt ống chống và không thể thả ống chống xuống tới chiều sâu thiết kế được.

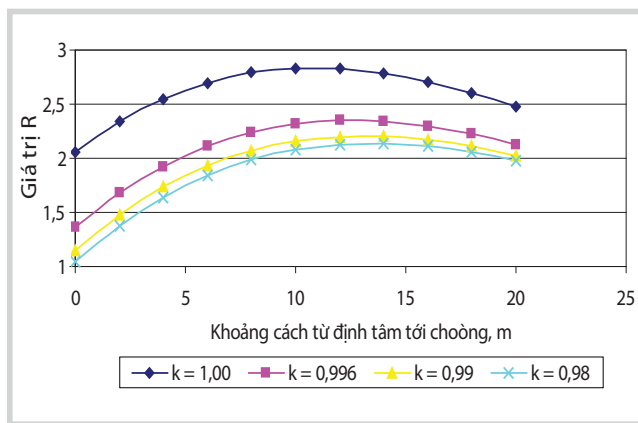
Các kết quả trên cho thấy giá trị độ cứng chịu uốn tương đương của bộ khoan cụ phụ thuộc nhiều vào cấu trúc và kích thước của các thành phần trong bộ khoan cụ. Đối với các đường kính lớn cho thấy giá trị R khá nhạy cảm với kích thước của định tâm. Chỉ cần thay đổi 1 - 2mm đường kính định tâm thì giá trị R cũng giảm tới 10 - 15%.



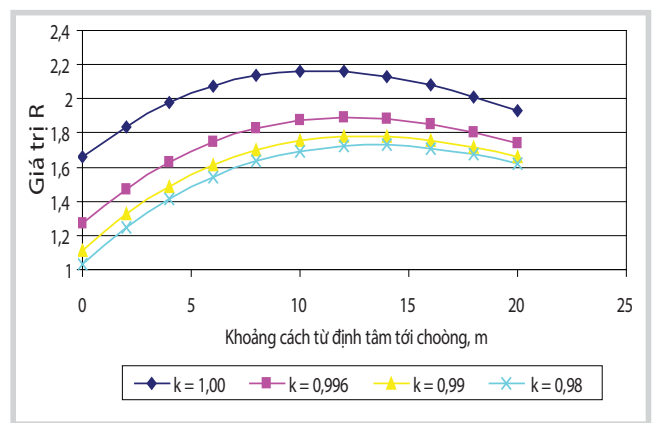
Hình 6. Tương quan giữa giá trị R với khoảng cách đặt định tâm
(Bộ khoan cụ: Chòong khoan đường kính 165,1mm + Định tâm + Cân nặng đường kính 120mm)



Hình 7. Tương quan giữa giá trị R với khoảng cách đặt định tâm
(Bộ khoan cụ: Chòong khoan đường kính 215,9mm + Định tâm + Cân nặng đường kính 165mm)



Hình 8. Tương quan giữa giá trị R với khoảng cách đặt định tâm
(Bộ khoan cụ: Chòong khoan đường kính 311,1mm + Định tâm + Cân nặng đường kính 203mm)



Hình 9. Tương quan giữa giá trị R với khoảng cách đặt định tâm
(Bộ khoan cụ: Chòong khoan đường kính 445mm + Định tâm + Cân nặng đường kính 254mm)

4. Kết luận

Trên cơ sở phát triển công thức Lubinski, nhóm tác giả đưa ra cách tính tải trọng tới hạn chịu uốn của bộ dụng cụ khoan với các cấp đường kính khác nhau làm cơ sở tính toán và xây dựng bộ khoan cụ đảm bảo được trạng thái ổn định và bền cơ học của hệ thống.

Kết quả tính toán cho phép xác định được độ cứng tương đương của bộ dụng cụ khoan với các cấp đường kính khác nhau làm cơ sở so sánh với độ cứng của cột ống chống để xây dựng bộ khoan cụ tương ứng phục vụ cho công đoạn thi công giếng khoan.

Kết quả nghiên cứu cho phép nâng cao hiệu quả làm việc của chòong khoan và giảm thiểu thời gian phi sản xuất do phải xử lý các phức tạp và sự cố xảy ra do hình dạng và quỹ đạo thân giếng gây ra.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Dầu khí Việt Nam trong khuôn khổ đề tài mã số GV1511.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thế Vinh, Lê Xuân Lân, Trần Xuân Đào. *Nghiên cứu và đánh giá trạng thái động học của hệ thống công nghệ khoan dầu khí*. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học - Công nghệ "30 năm Dầu khí Việt Nam - Cơ hội mới, Thách thức mới". Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 2005: trang 773 - 782.
2. Nguyễn Văn Khương, Trần Xuân Đào, Nguyễn Thành Trường. *Nghiên cứu đánh giá trạng thái động học bộ dụng cụ khoan đường kính nhỏ trong móng nút nê mỏ Bạch Hổ*. Tạp chí Dầu khí. 2014; 11: trang 18 - 22.
3. Trần Xuân Đào, Nguyễn Thế Vinh. *Xác định các thông số chế độ khoan tối ưu bằng cách tiếp cận mới trên quan điểm*

bền động học của quá trình khoan trong đá móng nứt nẻ mở Bạch Hổ. Tạp chí Dầu khí. 2006; 5: trang 10 - 14.

4. A.Lubinski. *A study of the buckling of rotary drilling strings*. API Drilling and Production Practice. 1950: p. 178 - 214.

5. В.Г. Григулецкий, В.Т. Лукьянов. *Проектирование компоновок нижней части буровой колонны*. - М.: Недра, 1990. -301 с.

6. J.P.Nguyen, G.Gabolde. *Drilling data handbook*. Editions Technip. 9th edition. 2014.

Improving the efficiency of oil well construction in view of mechanical stability

Nguyen Van Loi¹, Tran Xuan Dao²

Vo Quoc Thang¹, Nguyen Thi Hoai¹, Ngo Sy Tho³

¹Petrovietnam University

²Vietsovpetro

³Government Office

Email: loinv@pvu.edu.vn

Summary

It is typical for an oil and gas well to have a very high ratio of length to diameter of well bore (12-20 thousand times higher depending on the well size). The mechanical stability of the bore hole assembly (BHA) can directly affect the conditions and the efficiency of drilling bits during drilling operation. In addition, the shape of bore hole and well trajectory can create complications during well construction. By extension of Lubinski's results, the authors provide a method for calculation of critical load for buckling of drill pipe, including collars and calibrators, as well as calculation and evaluation of BHA stiffness for different rock bit diameters for all drilling operations.

Key words: Critical load, stiffness of BHA, dynamic stability of BHA, well design.