



NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ VẬN HÀNH HỢP LÝ CỦA MÁY KHOAN CỌC NHỒI KHI LÀM VIỆC VỚI GẦU MỞ RỘNG ĐÁY

Trương Quốc Thành¹, Nguyễn Tiến Nam², Nguyễn Ngọc Nhi³

Tóm tắt: Đối với một máy khoan cọc nhồi cho trước, khi lắp gầu mở rộng đáy lên nó, cần phải biết rõ đường kính cho phép lớn nhất của gầu cũng như các thông số vận hành chủ yếu của thiết bị là tốc độ quay của cần Kelly và tốc độ mở rộng cánh gầu sao cho máy làm việc hiệu quả và không bị quá tải, thành hố khoan không bị sập. Dựa vào kết quả nghiên cứu về động lực học của gầu mở rộng đáy của một số tác giả, có bổ sung các điều kiện làm việc thực tế của máy cũng như kết cấu cụ thể của gầu mở rộng, bài báo trình bày hai bài toán xác định các thông số vận hành hợp lý của thiết bị: bài toán thứ nhất với mục tiêu là năng suất lớn nhất và bài toán thứ hai là đường kính gầu tối đa. Ứng dụng Matlab Guide của phần mềm Matlab được chọn để giải hai bài toán kể trên. Sử dụng kết quả nghiên cứu khảo sát cho một số máy khoan cọc nhồi thông dụng hiện nay khi lắp gầu mở rộng đáy. Các kết quả khảo sát là bổ ích khi lựa chọn và vận hành máy.

Từ khóa: Khoan cọc nhồi; gầu mở rộng đáy; thông số vận hành hợp lý; tốc độ quay cần Kelly; tốc độ mở rộng cánh gầu.

Summary: For a bored pile drilling machine, when installing the extended bottom bucket, it is necessary to clear its specifications such as the admissible diameter drilling, boom Kelly speed and bucket wings extending speed, so that the machine can work effectively and the borehole is not collapsed. Based on dynamic pre-researches results, adding actual working conditions and also specific extended bucket structure, this paper gives two problems to determine the reasonable operating specifications of the machine: the first one with the maximum efficiency objective and the second one with maximum diameter bucket objective. The Matlab Guide application is used to resolve the problems. The results of this research are applied to some normal bored pile drilling machines with extended bottom bucket. The results are useful to choosing and operating the machine.

Keywords: Bored pile drilling machine; extended bottom bucket; reasonable operating specifications; boom Kelly speed; bucket wings extending speed.

Nhận ngày 22/11/2013, chỉnh sửa ngày 10/12/2013, chấp nhận đăng 28/2/2014



1. Mở đầu

Cọc khoan nhồi mở rộng đáy có đường kính đáy cọc được mở rộng lớn hơn đường kính thân cọc, nhờ vậy sức mang tải của cọc sẽ tăng lên do tăng sức chịu tải dưới mũi cọc. Để mở rộng đáy cọc, có nhiều phương pháp khác nhau. Một trong số đó là dùng gầu khoan mở rộng với cánh gầu có khả năng đóng mở bằng xi lanh thủy lực. Sau khi khoan đến độ sâu yêu cầu bằng gầu thường, người ta tháo gầu này và thay thế bằng gầu mở rộng đáy. Trong quá trình cắt đất để mở rộng đáy, gầu có hai chuyển động riêng rẽ: chuyển động quay gầu cùng với cần Kelly và chuyển động mở cánh gầu để tạo phoi cắt. Khi giữ nguyên tốc độ quay

¹PGS. TS, Khoa Cơ Khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: quocthanh278@yahoo.com

²ThS, Khoa Cơ Khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng.

³KS, Khoa Cơ Khí Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng.

cần Kelly, chiều dày phoi cắt sẽ tăng cùng với việc tăng tốc độ mở cánh. Trong trường hợp này năng suất cắt đất tăng, tuy nhiên lực cản cũng tăng theo có thể dẫn tới vượt quá công suất dẫn động của đầu khoan. Mặt khác, có thể thấy nếu tăng tốc độ quay của gầu mà không tăng tốc độ mở rộng cánh, năng suất cắt đất cũng không tăng mà thậm chí lại làm tăng công suất cản. Đối với một cấp đất nhất định, khi tăng đường kính gầu, lực cản cắt tăng lên đáng kể, do vậy để đảm bảo công suất dẫn động của đầu khoan, cần thiết phải giảm tốc độ quay gầu. Có thể nhận thấy hiệu quả cắt đất phụ thuộc rất nhiều vào hai thông số vận hành của máy là tốc độ quay gầu và tốc độ mở rộng cánh gầu. Ở một cấp đất và đường kính gầu nhất định, khi lắp gầu mở rộng đáy thay thế cho gầu thường trên một máy khoan nào đó, cần phải tìm ra hai thông số vận hành này sao cho năng suất cắt đất là lớn nhất mà không gây quá tải cho hệ dẫn động thiết bị. Kết quả trên sẽ giúp cho người sử dụng máy đưa ra các quyết định trong việc lựa chọn các thông số vận hành của máy một cách hợp lý khi có sự thay đổi điều kiện làm việc như thay đổi đường kính gầu, thay đổi độ sâu hố khoan và cấp đất ở độ sâu đó v.v..



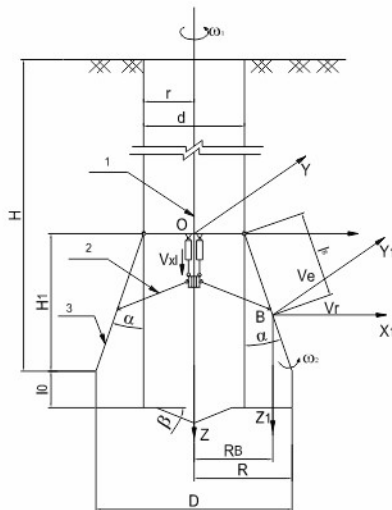
2. Nghiên cứu các thông số ảnh hưởng đến quá trình làm việc của gầu mở rộng đáy

2.1 Xác định mômen cản đào khi gầu mở rộng đáy làm việc

Khảo sát động lực học thiết bị khoan cọc nhồi mở rộng đáy đã được một số công trình đề cập đến. Trong [3], [5] các tác giả đã đưa ra mô hình động học của gầu khoan khi cắt đất và được mô tả trên hình 1. Khi gầu vừa quay vừa mở rộng cánh, quá trình cắt đất được thực hiện. Trên gầu xuất hiện mômen cản đào tác dụng lên cần Kelly như sau:

$$M_X = M_1 + M_b + M_{ms} \quad (1)$$

trong đó: M_1 là mômen do lực cản cắt đất thuần túy theo phương tiếp tuyến của 2 lưỡi cắt gây ra, (Nm); M_b là mômen do lực cản của bùn khoan tác dụng lên 2 lưỡi cắt gây ra, (Nm) và M_{ms} là mômen cản do lực ma sát trượt giữa đáy gầu, mặt cạnh cánh khoan với đất, (Nm).



Hình 1. Mô hình khảo sát động học gầu mở rộng đáy

1. Trục truyền chuyển động từ máy cơ sở xuống lưỡi cắt (cần Kelly); 2. Thanh truyền từ con trượt đến cánh gầu; 3. Cánh gầu mang lưỡi cắt; OXYZ- Hệ quy chiếu cố định; BXY, Y₁Z₁- Hệ quy chiếu di động; A- Tâm quay của lưỡi cắt; α - Góc mở rộng đáy (độ); H- Chiều sâu lỗ khoan (m); l- Chiều dài lưỡi cắt nghiêng mở rộng đáy (m); H1- Chiều cao đoạn đáy mở rộng (m); r, d- Bán kính, đường kính cọc thẳng (m); R, D- Bán kính đường kính đáy cọc mở rộng (m);

Sử dụng phương pháp xác định lực cản cắt của N.G. Dombrovski [2], các tác giả đã đưa ra mô hình tính (hình 2) và xây dựng được công thức tính lực cản cắt đất, từ đó tính được mômen cản cắt đất thuần túy đối với trục quay của gầu M_1 , như sau:

+ Lực cản theo phương tiếp tuyến tác dụng lên một lưỡi cắt mở rộng:

$$P_1 = P_{11} + P_{12} = \int_0^l k_2 H_B \cdot dl_B + \int_0^{h_{Bmax}} k_2 I_0 \cdot dh \quad (2)$$

trong đó: P_{11} là lực cản cắt theo phương tiếp tuyến ở đoạn lưỡi cắt nghiêng; P_{12} là lực cản cắt theo phương tiếp tuyến ở đoạn lưỡi cắt thẳng đứng; dl_B là vi phân chiều rộng phoi cắt tại điểm B trên lưỡi cắt; dh là vi phân chiều rộng phoi đất tại vùng lưỡi cắt thẳng; k_2 là lực cản cắt riêng thuần túy (N/m^2); h_B là chiều dày phoi cắt tại điểm B (h_B biến đổi từ $0 \rightarrow h_{Bmax}$); l_B là khoảng cách từ điểm B đến điểm đầu lưỡi cắt j; l là chiều dài lưỡi cắt nghiêng mở rộng đáy (m) và l_0 là chiều dài lưỡi cắt thẳng đứng (m).

Gọi $T/2$ là thời gian trục chính quay 1 vòng, ω_1 là vận tốc góc của trục chính (rad/s), ω_2 là vận tốc góc mở rộng cánh gầu (rad/s), có:

$$h_B = v_r \cdot \frac{T}{2} = l_B \cdot \omega_2 \cdot \frac{\pi}{\omega_1} \Rightarrow h_{Bmax} = l \cdot \omega_2 \cdot \frac{\pi}{\omega_1} \quad (3)$$

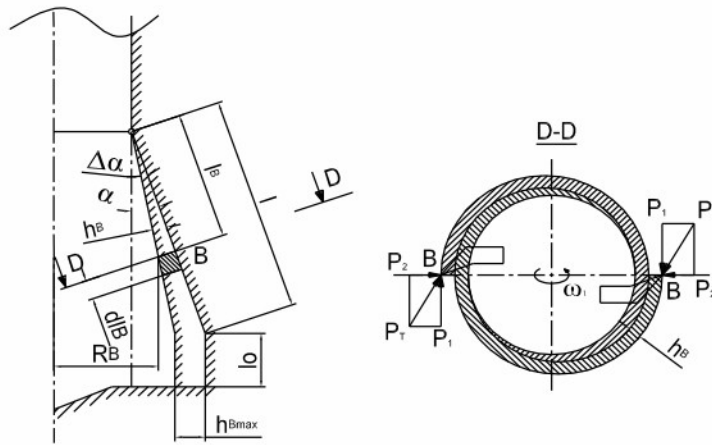
Thay (3) vào (2) có:

$$P_1 = \int_0^l k_2 l_B \omega_2 \frac{\pi}{\omega_1} dl_B + k_2 l_0 l \omega_2 \frac{\pi}{\omega_1} = \pi k_2 \frac{\omega_2}{2 \omega_1} l^2 + \pi k_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} l_0 l \quad (4)$$

+ Lực cản theo phương pháp tuyến tác dụng lên một lưỡi cắt mở rộng:

$$P_2 = \psi \pi \cdot \left(\pi k_2 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{l^2}{2} + k_2 l_0 l \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \quad (5)$$

trong đó: ψ là hệ số tỉ lệ giữa thành phần lực cản cắt pháp tuyến và lực cản cắt tiếp tuyến đối với lưỡi cắt, được xác định bằng thực nghiệm phụ thuộc vào hình dạng lưỡi cắt.



Hình 2. Mô hình xác định mômen cản do lực cản cắt đất gây ra

+ Mômen cản quay trục chính do lực cản cắt của đất:

$$M_1 = 2 \cdot \int_0^l (r + l_B \cdot \sin \alpha) k_2 l_B \pi \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} dl_B + 2 k_2 l_0 l \pi \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \sin \alpha) \\ M_1 = k_2 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(r l^2 + \frac{2}{3} l^3 \sin \alpha \right) + 2 k_2 l_0 l \pi \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \sin \alpha) \quad (6)$$

- Mômen cản do lực cản bùn khoan tác dụng lên hai cánh gầu khi quay phụ thuộc vào tốc độ quay của gầu và tỉ trọng của bùn khoan được xác định theo [3] và [7] như sau:

$$M_b = k_3 \cdot \rho_h \cdot \sin \alpha \cdot \omega_1^2 \left(r^3 l^2 + r^2 l^3 \sin \alpha + \frac{3}{8} r l^4 \sin^2 \alpha + \frac{1}{20} l^5 \sin^3 \alpha \right) \\ + 2 k_3 \cdot \rho_h \cdot \sin \alpha \cdot \omega_1^2 l_0 l \left(r + l \frac{\sin \alpha}{2} \right)^3 \quad (7)$$

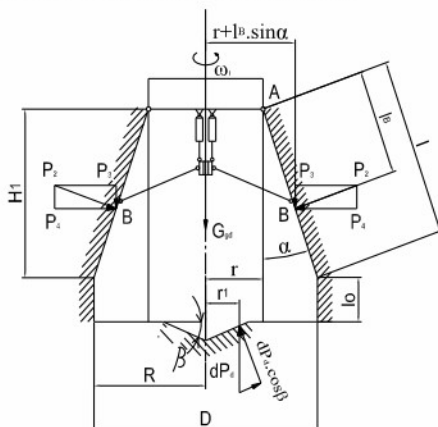
trong đó: k_3 là hệ số cản bề mặt của lưỡi cắt, được xác định bằng thực nghiệm, với bùn khoan $k_3 = 0,2$ và ρ_h là khối lượng riêng của bùn khoan, $\rho_h = 1035 \div 1075$ (kg/m^3);

- Mômen cản quay do lực cản ma sát M_{ms} sinh ra khi khoan mở rộng đáy gồm có ma sát ở đáy gầu khoan và 2 cánh khoan được xác định theo hình 3 như sau:

$$M_{ms} = \frac{2 f_l r \cos^2 \beta}{3} \left[G_{gd} + \psi \pi k_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} l^2 \sin \alpha \right] + 2 f_l \psi k_2 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(\frac{l^2}{2} r + \frac{l^3}{3} \sin \alpha \right) + 2 f_l \psi k_2 l_0 l \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \sin \alpha) \quad (8)$$

trong đó: f_1 là hệ số ma sát trượt giữa gầu với đất; G_{gd} là trọng lượng bản thân gầu và bùn đất chứa trong gầu và β là góc nghiêng mặt dưới đáy gầu so với mặt phẳng ngang.

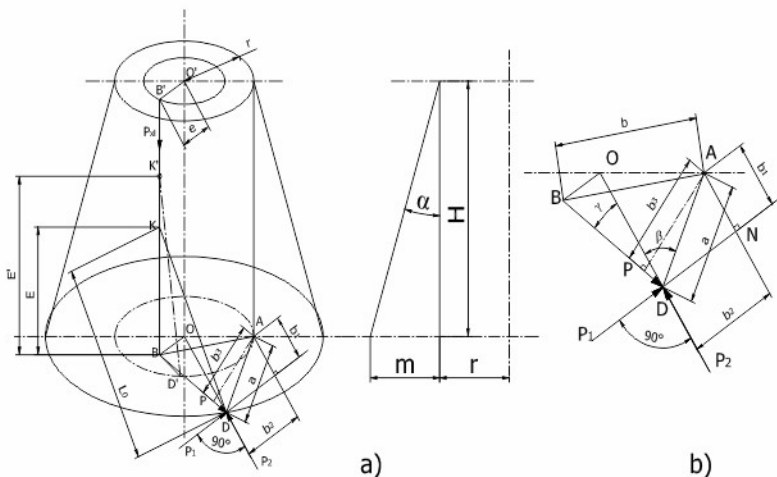
Cuối cùng, mômen cần đào được viết dưới dạng sau:



Hình 3. Xác định lực cản ma sát tác dụng lên gầu khoan

$$\begin{aligned}
 M_x = & k_2 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(r l^2 + \frac{2}{3} l^3 \sin \alpha \right) + 2 k_2 l_0 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \sin \alpha) + \\
 & k_3 \rho_h \omega_1^2 \sin \alpha \left(r^3 l^2 + r^2 l^3 \sin \alpha + \frac{3}{8} r l^4 \sin^2 \alpha + \frac{l^5 \sin^3 \alpha}{20} \right) + \\
 & 2 k_3 \rho_h \omega_1^2 \left(r + \frac{l \sin \alpha}{2} \right)^3 l_0 / \sin \alpha + \\
 & \frac{2}{3} f_1 r \cos^2 \beta \left(G_{gd} + k_2 \pi \psi \frac{\omega_2}{\omega_1} l^2 \sin \alpha \right) + 2 f_1 \psi k_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \\
 & \left(r \frac{l^2}{2} + \frac{l^3}{3} \sin \alpha \right) + 2 f_1 \psi k_2 l_0 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \sin \alpha)
 \end{aligned} \quad (9)$$

2.2 Xác định lực tác dụng lên xi lanh đóng mở cánh gầu



Hình 4. Mô hình tính toán lực tác dụng vào xi lanh

- a) Mô hình phân tích lực tác dụng vào xi lanh mở cánh gầu
b) Sơ đồ tính toán lực từ thanh truyền tác dụng lên cánh gầu

Hình 1 cho thấy, muốn mở rộng cánh gầu khoan, hai xi lanh sẽ đẩy đầu trên của hai thanh truyền đi xuống. Trên hình 4, đường tác dụng của xi lanh nằm trên đường thẳng BB'. Thanh truyền được biểu thị bằng đoạn thẳng K'D' trong trường hợp cánh gầu chưa được mở và KD khi cánh gầu mở hoàn toàn. Lực cản cát đất tác dụng lên cánh gầu bao gồm có hai thành phần: P_1 - Lực cản cát tiếp tuyến và P_2 - Lực cản cát cắt pháp tuyến.

Để đơn giản, coi lực cản cắt đất đặt tập trung tại khớp liên kết giữa thanh truyền và cánh gầu. Lực từ thanh truyền tác dụng lên cánh gầu P có phương trùng với đoạn thẳng BD (hình 4b). Xét cân bằng mômen với điểm A, có:

$$Pb_3 + P_1b_1 = P_2b_2 \quad (10)$$

Xét tam giác ABD có: $b_3 = b_1 \cdot \sin \gamma + b_2 \cdot \cos \gamma$

Cuối cùng có:

$$P = \frac{P_2b_2 - P_1b_1}{b_3} = \frac{P_2b_2 - P_1b_1}{b_1 \sin \gamma + b_2 \cos \gamma} \quad (11)$$

trong đó: b_1, b_2, γ được xác định khi cánh gầu ở trạng thái mở hoàn toàn.

Có thể thấy chiều dài đoạn BD thay đổi theo vị trí đóng mở cánh gầu. Đặt $BD = x$, khi cánh gầu khép hoàn toàn ta có $BD = x_{\min}$, khi cánh gầu mở hoàn toàn ta có $BD = x_{\max}$.

Xét tam giác BOD, trong trường hợp gầu mở hoàn toàn có:

$$x_{\max} = BD = \sqrt{e^2 + (r+m)^2 - 2e(r+m)\cos \widehat{BOD}} \quad (12)$$

trong đó:

$$\widehat{BOD} = \widehat{BOA} - \widehat{DOA} = \arccos \frac{e^2 + r^2 - b^2}{2er} - \arccos \frac{r^2 + (r+m)^2 - a^2}{2r(r+m)} \quad (13)$$

Tương tự khi cánh gầu khép kín có:

$$x_{\min} = BD' = \sqrt{e^2 + r^2 - 2er \cos \widehat{BOD'}} \quad (14)$$

$$b_1 = a \cos \beta = a \frac{(r+m)^2 + a^2 - r^2}{2a(r+m)} = \frac{(r+m)^2 + a^2 - r^2}{2(r+m)} \quad (15)$$

Theo công thức Heron có diện tích tam giác OAD

$$S_{\Delta OAD} = \sqrt{p \cdot (p - OA) \cdot (p - AD) \cdot (p - OD)}$$

trong đó:

$OA = r$; $AD = a$; $OD = r + m = r + H_1 \cdot \tan \alpha$; p - nửa chu vi tam giác OAD.

$$p = \frac{OA + AD + OD}{2} = \frac{2r + a + H_1 \cdot \tan \alpha}{2}$$

Mặt khác có: $S_{\Delta OAD} = \frac{1}{2} \cdot b_2 \cdot OD = \frac{1}{2} \cdot b_2 \cdot (r + H_1 \cdot \tan \alpha)$

Cuối cùng có:

$$b_2 = \frac{2\sqrt{p(p-r)(p-a)(p-r-H_1 \tan \alpha)}}{r + H_1 \tan \alpha} \quad (16)$$

Xét tam giác BOD có

$$\gamma = \arccos \frac{BD^2 + OD^2 - OB^2}{2BD \cdot OD} = \arccos \frac{x_{\max}^2 + (r + H_1 \tan \alpha)^2 - e^2}{2x_{\max}(r + H_1 \tan \alpha)} \quad (17)$$

Xét tam giác KDB, lực tác dụng lên piston ở vị trí gầu mở hoàn toàn được xác định như sau:

$$P_{xl} = P \frac{E}{x_{\max}} \quad (18)$$

$$P_{xl} = \left[\left(\psi \pi k_2 \frac{\omega_2}{2\omega_1} l^2 + \psi k_2 l_0 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) b_2 - \left(\pi k_2 \frac{\omega_2}{2\omega_1} l^2 + \psi k_2 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) b_1 \right] \frac{\sqrt{L_0^2 - x_{\max}^2}}{(b_1 \sin \gamma + b_2 \cos \gamma) x_{\max}}$$

Hành trình piston mở cánh gầu hoàn toàn:

$$\Delta E = E' - E = \sqrt{L_0^2 - x_{\min}^2} - \sqrt{L_0^2 - x_{\max}^2} \quad (19)$$

2.3 Điều kiện chống sập của đất khi khoan mở rộng đáy

Để không sập đáy hố khoan trong quá trình mở rộng, các điều kiện sau phải được thỏa mãn:

- Điều kiện thứ nhất: Góc mở rộng đáy của gầu khoan phải nhỏ hơn góc mở rộng đáy lớn nhất được xác định từ chiều cao đáy mở rộng, đường kính cọc và điều kiện địa chất. Đối với các loại gầu hiện nay, thường góc mở rộng cánh được thiết kế thỏa mãn điều kiện này. Ví dụ, loại gầu của Nippon Sharyo góc mở tối đa là 11,7 độ [9].

- Điều kiện thứ hai: Mômen chủ động từ cần Kelly truyền tới gầu khoan sau khi trừ đi phần mômen cản do bùn khoan gây ra trong quá trình cắt sẽ là phần mômen tạo ra lực tác dụng trực tiếp lên thành hố khoan thông qua các cánh gầu để thắng mômen cản cắt đất và mômen ma sát của 2 lưỡi cắt với đất sinh ra trong quá trình khoan. Giá trị mômen này phải nhỏ hơn giá trị mômen xoắn giới hạn chống sập của đất, tính theo lý thuyết cơ học đất khi ứng suất tiếp tuyến đạt tới giá trị giới hạn τ_f :

$$M_0 = (M_1 + M_{ms2}) \leq M_{gh} \quad (20)$$

Mômen xoắn cần cắt đất M_1 được tính theo công thức (6), mômen ma sát ở 2 lưỡi cắt tính theo công thức (8).

Mômen giới hạn chống sập của đất, tính theo lý thuyết cơ học đất khi ứng suất tiếp tuyến đạt tới giá trị giới hạn τ_f . Mômen giới hạn chống sập sẽ bằng mômen kháng ở mặt bên phần lưỡi cắt nghiêng và ở mặt bên phần lưỡi cắt thẳng, sau khi rút gọn có giá trị như sau [1], [3], [5], [7]:

$$M_{gh} = \pi \tau_f \left[\frac{H_1}{\cos \alpha} (r + R) \left(r + \frac{H_1 \tan \alpha}{2} \right) + 2R^2 l_0 \right] \quad (21)$$

Theo [3], [5], năng suất cắt đất của thiết bị mở rộng đáy được xác định như sau:

$$Q = \frac{\pi \omega_2 l^2 \cos \alpha}{3} \left[3r + 2l \left(\alpha - \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \right], \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (22)$$

α - Góc mở rộng của lưỡi cắt tại thời điểm xét (rad);

2.4 Phân tích ảnh hưởng của các thông số vận hành đến khả năng làm việc của máy

Công thức (22) tính năng suất mở rộng đáy tại thời điểm góc mở của cánh là α cho thấy, tại một góc mở đáy α xác định, năng suất cắt đất phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ mở rộng cánh ω_2 và tốc độ quay trục chính ω_1 . Nếu tăng tốc độ mở rộng cánh trong khi tốc độ quay trục chính không đổi thì năng suất sẽ tăng. Việc tăng tốc độ mở rộng cánh khi coi tốc độ trục chính là không đổi đồng nghĩa với việc tăng chiều dày phoi cắt trong một vòng quay của trục chính và đương nhiên lực cản cắt cũng tăng theo. Mặt khác, nếu tăng tốc độ trục chính ω_1 mà không tăng tốc độ mở rộng cánh thì chiều dày phoi cắt sẽ giảm và năng suất giảm theo. Gọi $k = \omega_2 / \omega_1$ là đại lượng đặc trưng cho cho độ lớn chiều dày phoi cắt, k càng lớn có nghĩa là chiều dày phoi cắt càng lớn.

Trong quá trình cắt đất để mở rộng đáy, góc mở đáy α tăng dần từ 0 đến $\alpha_{\max}$, nếu tốc độ quay trục chính và tốc độ mở rộng cánh không đổi, thì năng suất sẽ tăng dần theo sự tăng của góc mở đáy α và đạt giá trị lớn nhất khi $\alpha = \alpha_{\max}$.

Có thể thấy mômen cản cắt đất tác dụng lên cần Kelly theo công thức (9) sẽ tăng đáng kể khi chiều dày phoi cắt, mà đặc trưng là hệ số k tăng. Ngoài ra khi tốc độ trục chính ω_1 tăng, thì công suất cản cũng tăng. Mặt khác, giá trị mômen cần được tính tại một vị trí ứng với góc mở rộng α của cánh gầu. Khi tốc độ quay trục chính và chiều dày phoi cắt không đổi thì mômen cần sẽ tăng cùng với sự tăng của góc mở α và đạt giá trị lớn nhất khi góc mở đáy $\alpha = \alpha_{\max}$.

Theo (6), (8), (20) và (21) có điều kiện chống sập hố phần mở rộng như sau:

$$M_0 = k_2 \pi \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(r l^2 + \frac{2}{3} l^3 \cdot \sin \alpha \right) + 2 k_2 l_0 l \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \cdot \sin \alpha) + \frac{2}{3} f_1 r \cdot \cos^2 \beta \left(G_{gd} + k_2 \pi \psi \frac{\omega_2}{\omega_1} l^2 \cdot \sin \alpha \right) + f_1 \psi \pi k_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(r \frac{l^2}{2} + \frac{l^3}{3} \sin \alpha \right) + 2 f_1 \psi k_2 l_0 l \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} (r + l \cdot \sin \alpha) \leq \pi \tau_f \left[\frac{H_1}{\cos \alpha} (r + R) \left(r + \frac{H_1 \tan \alpha}{2} \right) + 2 R^2 l_0 \right] \quad (23)$$

Có thể thấy với một góc mở rộng của cánh gầu cho trước, khi tăng chiều dày phơi cát đến một mức nào đó, tức là tăng hệ số k thì điều kiện (23) sẽ bị phá vỡ. Vì vậy, khi muốn tăng tốc độ mở rộng cánh ω_2 để tăng năng suất thì phải tăng tốc độ quay trục chính để đảm bảo giá trị $k = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ không tăng.



3. Xác định các thông số vận hành hợp lý của thiết bị khoan mở rộng đáy

3.1 Bài toán xác định thông số vận hành hợp lý

Bài toán 1: Hàm mục tiêu là năng suất mở rộng đáy lớn nhất

Coi tốc độ quay trục chính và tốc độ mở rộng cánh là không thay đổi trong suốt quá trình mở rộng đáy cọc. Theo (22) và (9), nếu các tốc độ nói trên không đổi, thì năng suất và mômen cần đào trên cần Kelly sẽ tăng dần và đạt giá trị lớn nhất ở cuối giai đoạn làm việc khi góc mở rộng của cánh gầu là cực đại. Trong bài toán này, hàm mục tiêu là năng suất mở rộng đáy theo công thức (22) là lớn nhất, các điều kiện biên và điều kiện ràng buộc sẽ là:

- Tốc độ quay cần Kelly phải thỏa mãn điều kiện: $\omega_{1min} \leq \omega_1 \leq \omega_{1max}$.
- Tốc độ mở rộng cánh gầu: $\omega_{2min} \leq \omega_2 \leq \omega_{2max}$.
- Góc mở cánh gầu khoan tối đa theo khả năng của mỗi loại gầu.
- Lực đóng mở gầu lớn nhất (lực đẩy của xi lanh thủy lực) phải lớn hơn lực cản tác dụng lên cán piston tính theo công thức (18);
- Thỏa mãn điều kiện không sập thành hố mở rộng theo điều kiện (23);
- Mômen cần trên cần Kelly theo công thức (9) phải nhỏ hơn mômen dẫn động lớn nhất.

Các thông số vận hành hợp lý của mỗi thiết bị cần tìm cho mỗi loại đường kính gầu và mỗi loại cấp đất sẽ là tốc độ quay cần Kelly và tốc độ đóng mở cánh gầu khoan.

Bài toán 2: Đường kính gầu mở rộng đáy tối đa (lớn nhất có thể) cho mỗi một loại thiết bị ứng với từng cấp đất

Trong bài toán 2, hàm mục tiêu là đường kính gầu lớn nhất có thể, các điều kiện biên và điều kiện ràng buộc giống như bài toán 1. Các thông số vận hành hợp lý của mỗi thiết bị cần tìm cho trường hợp này là tốc độ quay cần Kelly và tốc độ đóng mở cánh gầu khoan.

3.2 Chương trình máy tính xác định một số thông số vận hành hợp lý của thiết bị khoan mở rộng đáy và kết quả

Trên cơ sở phân tích về bài toán tối ưu đã nêu ở trên, nhóm tác giả tiến hành xây dựng thuật toán và ứng dụng Matlab Guide để xây dựng phần mềm "Xác định các thông số vận hành hợp lý của thiết bị khoan nhồi mở rộng đáy" tương ứng với bài toán 1 và bài toán 2. Sơ đồ thuật toán và chương trình máy tính được trình bày cụ thể trong tài liệu [6]. Giao diện chương trình khi nhập số liệu đầu vào được thể hiện trên hình 5. Các thông số đầu vào gồm có:

- Các thông số đặc trưng cho tính chất cơ lý của đất: lực cản cát riêng, khối lượng riêng của mùn khoan, cường độ chống cắt của đất, hệ số ma sát giữa gầu và đất;
- Các thông số hình học của gầu;
- Các thông số của lỗ khoan (cọc mở đáy): bán kính cọc trụ, chiều cao phần mở rộng và góc mở rộng đáy;
- Các thông số vận hành của máy: Lực đẩy lớn nhất của xi lanh mở cánh gầu, mô men dẫn động của đầu khoan, giới hạn lớn nhất, nhỏ nhất của tốc độ quay cần Kelly và tốc độ mở cánh gầu;

Kết quả bài toán được xuất ra bằng đồ thị và số. Trên đồ thị (hình 6) biểu diễn mối quan hệ giữa năng suất cắt đất khi mở rộng đáy Q (m^3/s) và hai thông số vận hành của thiết bị ω_1 và ω_2 . Trong tất cả các cặp giá trị thỏa mãn các điều kiện ràng buộc, sẽ có một cặp cho năng suất mở rộng đáy là lớn nhất. Các giá trị này được thể hiện bằng số trong các ô cửa, trong ví dụ là cặp thông số vận hành hợp lý của máy khoan ED 6200 khi lắp gầu mở rộng BK20 có đường kính cọc trụ 1,7m, góc mở rộng $11,7^\circ$, làm việc ở nền đất cấp III: $\omega_1=1,4591$ rad/s; $\omega_2=0,0065$ rad/s, khi này có $Q_{max}=0,449498m^3/s$.

Sử dụng phần mềm “Xác định các thông số vận hành hợp lý của thiết bị khoan cọc nhồi mở rộng đáy” khảo sát trên một số máy khoan cọc nhồi thông dụng hiện nay [9], [10] khi lắp gầu mở rộng đáy của hãng Nippon Sharyo [9] với các đường kính khác nhau có ký hiệu từ BK10 đến BK23. Kết quả khảo sát ứng với đất cấp III được cho ở các bảng từ 1 đến 4.

Thông số vận hành

Hx1 cho phép: 200000

Mx cho phép: 99000

w1 min: 1.04

w1 max: 2.31

w2 min: 0.002

w2 max: 0.02

Thông số đầu vào

Thông số đất

Lực cản cắt nung k2: 140000

Hệ số thực nghiệm k3: 0.2

Khối lượng nung bùn khoan ph: 10500

Cường độ chống cắt của đất tf: 50000

Hệ số ma sát gầu - đất t1: 0.3

Thông số gầu

Góc mở lưỡi cắt alpha: 0.21

Chiều dài lưỡi nghiêng l: 3.94

Chiều dài lưỡi thẳng lo: 0.5

l rộng lượng gầu và đất Ugđ: 6790

Hệ số tỉ lệ c: 0.35

Góc nghiêng mặt dưới gầu beta: 0.35

Thông số gầu

Khoảng cách a: 0.9

Khoảng cách e: 0.25

Khoảng cách b: 0.748

Chiều dài thanh đáy: 2.18

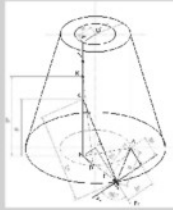
Thông số cọc

Bán kính cọc trụ r: 0.935

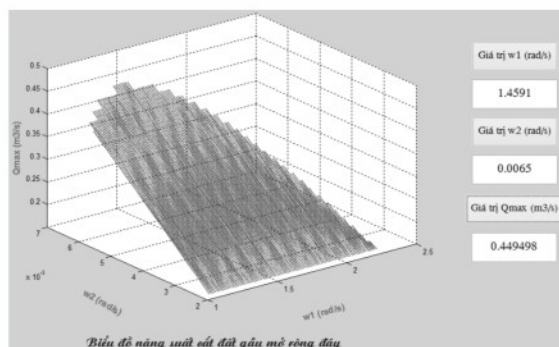
Chiều cao đáy mở rộng H1: 3.87

NĂNG SUẤT

Nguyên Ngọc Nhi - Bm Co giới hóa Xây dựng - BTKED



Hình 5. Giao diện nhập số liệu đầu vào khi xác định thông số vận hành hợp lý với hàm mục tiêu là năng suất lớn nhất



Hình 6. Giao diện xuất kết quả của bài toán năng suất lớn nhất với ví dụ máy cơ sở ED6200 lắp gầu BK20

Bảng 1. Thông số vận hành cho năng suất cắt đất lớn nhất của máy ED5500

Loại gầu	$\omega_1(\text{rad/s})$	$\omega_2(\text{rad/s})$	$Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	Hệ số $\frac{1}{k} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$
BK-10	3,1243	0,01982	0,0959	157,63
BK-11	3,1243	0,01982	0,170686	157,63
BK-13	3,1243	0,01982	0,410199	157,63

Bảng 2. Thông số vận hành cho năng suất cắt đất lớn nhất của máy ED6200

Loại gầu	$\omega_1(\text{rad/s})$	$\omega_2(\text{rad/s})$	$Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	Hệ số $\frac{1}{k} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$
BK-17	2,0433	0,01388	0,618734	147,21
BK-20	1,4591	0,0065	0,449498	224,47
BK-23	1,1289	0,00326	0,331688	346,28

Bảng 3. Thông số vận hành cho năng suất cắt đất lớn nhất của máy ED6500

Loại gầu	$\omega_1(\text{rad/s})$	$\omega_2(\text{rad/s})$	$Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$	Hệ số $\frac{1}{k} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$
BK-17	1,88	0,01388	0,61657	122,71
BK-20	1,5608	0,0065	0,450241	240,12
BK-23	1,1828	0,00326	0,33193	362,82

Bảng 4. Thông số vận hành cho đường kính gầu lớn nhất khi mở rộng đáy gầu với đất cấp III

Máy cơ sở	Đường kính cọc trụ (mm)	Đường kính mở rộng lớn nhất (mm)	Vận tốc góc cần Kelly ω_1 (rad/s)	Vận tốc góc mở rộng cánh gầu ω_2 (rad/s)
	d(mm)	D(mm)		
ED5500	1570 (BK17)	2979	1,5857	0,0022
ED6200	2170(BK23)	3983	1,0527	0,0022
ED6500	2170 (BK23)	3983	1,0484	0,0022
ED5800H	1870 (BK20)	3483	1,3736	0,0022
TE4300H	1870 (BK20)	3483	1,3736	0,0022
KH100D	1570 (BK17)	2979	1,5857	0,0022
KH125	1570 (BK17)	2979	1,2725	0,0022

- Khảo sát trên máy khoan ED 5500 cho thấy nếu lắp gầu BK-10, BK-11 và BK-13, máy đều có khả năng vận hành với tốc độ quay cần Kelly tối đa là $\omega_1=3,1243 \text{ rad/s}$ để đạt năng suất cao nhất, khi này tốc độ mở rộng cánh $\omega_2 = 0,01982$ (bảng 4) sẽ cho năng suất mở rộng đáy hố là cao nhất. Tỉ số $1/k=\omega_1/\omega_2=157.63$. Có thể thấy khi làm việc với các gầu có đường kính nhỏ, máy có thể vận hành với chế độ tốc độ cao nhất do vẫn dư thừa công suất dẫn động. Tuy nhiên khi làm việc với gầu BK- 17 có đường kính lớn hơn các loại trên thì bắt buộc phải giảm tốc độ quay cần Kelly xuống, $\omega_1=1,5858 \text{ rad/s}$. Khi này tốc độ mở rộng cánh bắt buộc phải rất chậm, $\omega_2 = 0,0022 \text{ rad/s}$ (bảng 4). Hệ số $1/k=\omega_1/\omega_2=720$ cho thấy chiều dày phoi cắt là rất nhỏ chỉ bằng $157.63/720=0.218$ so với các loại gầu trên. Trong trường hợp này năng suất cắt đất sẽ là nhỏ để đảm bảo máy không bị quá tải.

- Trên các máy khoan ED 6200 và ED 6500, khi lắp gầu có đường kính tăng lên từ BK-17 đến BK-23, tốc độ quay cần Kelly có xu hướng giảm dần để đảm bảo công suất dẫn động (bảng 2 và bảng 3). Thông qua giá trị của biểu thức $1/k=\omega_1/\omega_2$ tăng nhanh theo độ lớn của gầu, cho thấy đường kính gầu càng lớn thì chiều dày phoi cắt khi cắt đất phải giảm nhỏ để không bị quá tải và đương nhiên năng suất cắt đất sẽ giảm.

- Trên bảng 4 cho biết đối với mỗi máy khoan cọc nhồi có thể lắp được đường kính gầu tối đa là bao nhiêu và máy phải vận hành ở tốc độ nào để đảm bảo không bị quá tải khi làm việc với đất cấp III.



4. Kết luận

- Kết quả nghiên cứu cho thấy ở mỗi cấp đất nhất định, đối với mỗi một loại máy khoan, khi lắp gầu mở rộng đáy có đường kính khác nhau, cần phải điều chỉnh tốc độ quay của gầu và tốc độ mở rộng cánh một cách phù hợp để đảm bảo thiết bị không bị quá tải, đồng thời cho năng suất cắt đất là lớn nhất. Việc tăng tốc độ quay gầu khoan phải phù hợp với tốc độ mở rộng cánh. Nếu tăng không hợp lý dẫn đến tiêu tốn năng lượng lớn trong khi năng suất không tăng.

- Đối với một máy khoan khi làm việc ở cấp đất nào đó, có thể xác định được đường kính gầu mở rộng lớn nhất mà máy có thể làm việc được, đồng thời chọn được bộ thông số về tốc độ quay và tốc độ mở rộng cánh gầu để đảm bảo máy hoạt động bình thường.

- Phần mềm "Xác định các thông số vận hành hợp lý của thiết bị khoan cọc nhồi mở rộng đáy" có thể áp dụng được trong thực tế, giúp cho việc sử dụng máy một cách có hiệu quả hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Cao Văn Chí, Trịnh Văn Cường (2003), *Cơ học đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
2. Phạm Hữu Đồng, Hoa Văn Ngũ, Lưu Bá Thuận (2004), *Máy làm đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
3. Nguyễn Thị Hồng (2000), *Khoan cọc nhồi mở rộng đáy*, Luận án Tiến sỹ, ĐH Bách khoa Hồ Chí Minh.
4. Nguyễn Bá Kế (1997), *Thi công cọc khoan nhồi*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
5. Nguyễn Tiến Nam (2009), *Nghiên cứu lựa chọn hợp lý một số thông số cơ bản của thiết bị gầu khoan cọc nhồi mở rộng đáy*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, ĐH Xây dựng, Hà Nội.
6. Nguyễn Ngọc Nhì (2013), *Nghiên cứu xác định chế độ vận hành hợp lý của máy khoan cọc nhồi lắp thiết bị mở rộng đáy kiểu gầu*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, ĐH Xây dựng, Hà Nội.
7. Phan Hồng Quân (2006), *Cơ học đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
8. Lưu Bá Thuận (2005), *Tính toán máy thi công đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
9. Giới thiệu thiết bị của hãng HITACHI Co. Ltd (Nhật Bản), 2007.
10. Giới thiệu thiết bị của hãng NIPPON SHARYO Co. Ltd (Nhật Bản), 2007.