



TÍNH TOÁN LỰC CẢN CÔNG TÁC LÊN THIẾT BỊ KHOAN CỌC NHỒI KIỂU GẦU

Trương Quốc Thành¹, Nguyễn Văn Mạnh²

Tóm tắt: Xác định lực và mômen cản của đất tác dụng lên thiết bị công tác của máy khoan cọc nhồi kiểu gầu sẽ là cơ sở để tính toán kết cấu gầu và hệ dẫn động cho gầu khoan cũng như lựa chọn chế độ vận hành phù hợp của máy khi cấp đất và đường kính lỗ khoan thay đổi. Trong bài này tác giả dựa trên lý thuyết khoan xoay kiểu choòng, có chú ý đến đặc điểm cấu tạo và đặc điểm làm việc của gầu khoan để đưa ra mô hình và xây dựng các biểu thức xác định các thông số làm việc của thiết bị như lượng ăn dao, tốc độ khoan, lực cản tác dụng lên lưỡi cắt, mômen và công suất dẫn động cần thiết cho gầu khoan. Thông qua ví dụ tính toán để so sánh kết quả với máy thực nhằm đánh giá độ chính xác của mô hình nghiên cứu.

Từ khóa: Máy khoan cọc nhồi kiểu gầu; công suất dẫn động gầu khoan.

Summary: Determination of resistance force and resistance moment of earth to the working device of bucket drilling machine is the base of calculation of bucket structure and its drive system. It is also the base to chose operate mode of the machine when earth class and drilling hole diameter vary. In this paper, the author based on the rotary drilling theory, structural and working features of drilling bucket to offer the calculation model and construct formulae of working parameters such as tool feed, drilling velocity, resistance to cutting edge, moment and needed driving power of drilling bucket. Some example was offered to assess the accuracy of the calculation model by comparing it with practical machine.

Key words: Bucket drilling machine; Driving power of drilling bucket.

Nhận ngày 10/11/2013, chỉnh sửa ngày 30/11/2013, chấp nhận đăng 28/2/2014



1. Đặt vấn đề

Khi thi công tạo lỗ cọc khoan nhồi, gầu khoan có thể gặp những dạng đất đá khác nhau. Mỗi loại đất có một trạng thái cơ lý, do vậy trong quá trình khoan, lực cản lên gầu khoan là khác nhau. Lực cắt phá vỡ đất của răng gầu phụ thuộc vào loại đất đá khoan, vào đặc điểm cấu tạo của dụng cụ cắt và phương pháp phá vỡ đất, vì vậy tìm ra phương pháp tính lực cắt đất phù hợp để từ đó xác định được mômen xoắn cần thiết và lựa chọn được công suất của động cơ dẫn động thiết bị khoan là một điều rất cần thiết. Đã có rất nhiều các công trình nghiên cứu về mối quan hệ giữa đất và thiết bị công tác nhằm mục đích đưa ra các mô hình tính phù hợp với từng loại máy làm đất mà điển hình là các tác giả người Nga N.G. Đombropcki, A.N. Zelenhin, Ju.A.Vetrov v.v... Nội dung của các công trình này được xem là kinh điển và được đưa vào sách phục vụ học tập và nghiên cứu trong các trường đại học [1], [6], [7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu được khảo sát trên các thiết bị làm đất thuộc nhóm máy đào và nhóm máy đào chuyển đất như máy đào một gầu, máy đào nhiều gầu, máy ủi, máy san, máy cạp v.v... Ở các loại máy này, trong quá trình cắt đất, dao cắt chỉ có một chuyển động tiến về phía trước để cắt, phá vỡ đất và gom đất vào gầu hoặc đẩy đất đi. Một điểm khác biệt giữa quá trình thực hiện cắt đất của khoan cọc nhồi kiểu gầu xoay so với các thiết bị làm đất kể trên là trong quá trình khoan, mỗi một điểm trên cạnh dao cắt thực hiện chuyển động tịnh tiến theo hướng đi sâu xuống dưới và chuyển động quay. Quá trình biến dạng và bị phá hủy đất đá, chuyển động của phoi đất được tách ra trượt trên mặt trên của răng gầu và đi vào gầu được diễn ra liên tục, đồng thời trong suốt quá trình

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

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

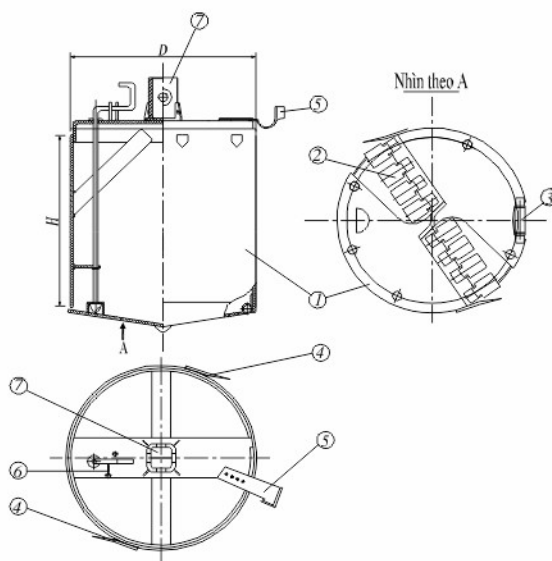
vừa quay vừa đi xuống của gầu. Do sự khác biệt như vậy, nên việc áp dụng mô hình tính toán và các công thức tính lực cản cắt đất của các tác giả nói trên sẽ là không phù hợp. Việc xây dựng một mô hình tính toán phù hợp với đặc điểm làm việc của thiết bị sẽ cho kết quả chính xác hơn. Bài báo trình bày phương pháp xác định lực cản tác dụng lên gầu khoan nhờ dựa trên lý thuyết khoan xoay, có chú ý đến điểm khác biệt giữa chèo khoan trong máy khoan xoay và khoan xoay kiểu gầu trong máy khoan cọc nhồi.



2. Xác định lực cản tác dụng lên gầu khoan trong quá trình cắt đất

2.1 Cấu tạo và đặc điểm làm việc của gầu khoan cọc nhồi

Cấu tạo của gầu khoan cọc nhồi được mô tả trên hình 1. Ở hầu hết các gầu khoan hiện nay, răng gầu hay còn gọi là lưỡi cắt có dạng hình chêm. Cũng như các loại lưỡi cắt của máy làm đất khác, răng gầu có các thông số chính như góc sắc β , góc trước γ và góc cắt δ . Trên gầu khoan, các răng gầu được bố trí từ mép ngoài của gầu vào tâm thành hai phần theo bán kính và có chiều ngược nhau. Giữa răng gầu và đáy gầu có khe hở để khi gầu quay, răng gầu tiến hành cắt đất và đồng thời đất sẽ theo khe hở đi vào trong gầu. Do khoảng cách giữa các răng gầu là rất nhỏ so với chiều dài của một răng cắt nên có thể coi như trên mặt dưới của gầu có gắn hai lưỡi cắt có chiều dài bằng bán kính của gầu.



Hình 1. Cấu tạo gầu khoan cọc nhồi

1. Thành đứng gầu; 2. Răng gầu; 3. Khớp bản lề; 4, 5. Lưỡi cắt bên; 6. Lò xo; 7. Đầu trên gầu khoan.

Trong quá trình khoan, mỗi một điểm trên cạnh răng thực hiện chuyển động tịnh tiến theo hướng đi sâu xuống dưới và chuyển động quay. Lượng ăn dao dọc của gầu trong quá trình khoan sẽ phụ thuộc vào lực ép gầu từ trên xuống cũng như giới hạn bền nén của đất đá. Mômen từ cần khoan truyền vào gầu sẽ tạo ra chuyển động quay của gầu. Khi gầu vừa quay vừa đi xuống, quá trình biến dạng và bị phá hủy của đất đá, chuyển động của phoi đất tách ra trượt trên mặt trên của răng gầu và đi vào gầu được diễn ra liên tục, đồng thời. Có thể thấy có sự giống nhau của quá trình cắt và phá vỡ đất đá giữa chèo khoan trong máy khoan xoay địa chất và máy khoan cọc nhồi kiểu gầu xoay.

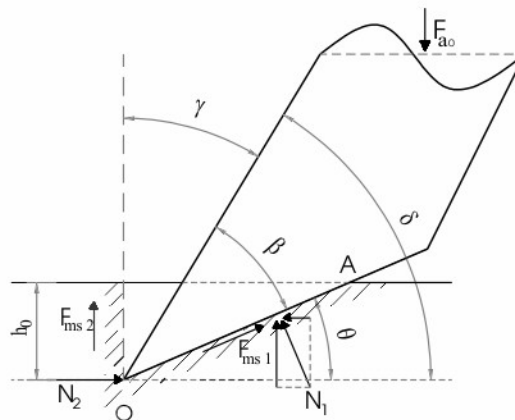
Trong lý thuyết về công nghệ khoan xoay, cho thấy quá trình phá vỡ đất đá được thực hiện là do lực tác dụng của vật thể cứng mà ở đây là lưỡi cắt của chèo khoan vào đất đá mềm hơn. Trong khi khoan, dưới tác dụng của lực dọc trục và mômen quay, lưỡi cắt vừa chuyển động tịnh tiến, vừa chuyển động quay tròn theo quỹ đạo xoắn vít để cắt và phá vỡ đất. Nếu gặp đất mềm thì lưỡi cắt phá vỡ đất theo từng lớp. Khi đó lực tác dụng của lưỡi cắt trong quá trình phá vỡ đất đá sẽ thay đổi theo chu kỳ từ giá trị cực đại xuống giá trị cực tiểu. Theo giáo sư viện sĩ V.G Mikhailop [8], các thành phần lực cản tiếp tuyến và pháp tuyến tác dụng lên dao cắt được tính toán dựa trên cơ sở ứng suất giới hạn chịu nén của đất. Riêng thành phần lực cản tiếp tuyến, để kể đến đặc điểm phá vỡ đất đá ở mặt trước của lưỡi cắt không chỉ do lực nén của lưỡi cắt mà còn do đất bị trượt lở nên thành phần lực này thường được lấy giảm đi thông qua một hệ số $k=0,5-0,7$ [8].

Điều khác biệt so với chèo khoan là dao cắt của gầu khoan nhồi thường có góc cắt $\delta = 35^\circ - 55^\circ$, trong khi ở chèo khoan là 90° . Trong quá trình cắt đất, ở chèo khoan không có sự trượt của phoi cắt trên bề mặt trước của răng, trong khi đó ở gầu khoan, phoi đất sẽ trượt trên mặt trước của răng gầu để đi vào gầu. Mặt khác, khi đất đi vào gầu có sự trượt tương đối của lớp đất này so với lớp đất đã có trong gầu.

2.2 Xác định lực cần thiết để lưỡi cắt xâm nhập vào nền đất tạo chiều dày phoi cắt

Khi khoan, các răng gầu thực hiện quá trình cắt đất đá dưới tác dụng của lực dọc trục F_{a0} và mômen xoắn M truyền qua cần khoan đến gầu. Lực dọc trục F_{a0} thường được tạo ra nhờ trọng lượng bản thân gầu và cần khoan, nhiều trường hợp còn có thêm lực ép của xi lanh thủy lực hay của tời thông qua pa lăng cáp. Khi này lực dọc trục F_{a0} phải khắc phục lực kháng của đất đá tác dụng lên phần diện tích mặt đầu của lưỡi cắt khi lưỡi cắt ấn vào đất. Mômen xoắn M cần phải vượt qua lực cản ở phần trước của lưỡi cắt để làm vỡ đất đá.

Hình 2 thể hiện sơ đồ ấn lưỡi cắt vào nền đất. Sự tách rời của các hạt đất đá dưới đáy hố khoan trong quá trình khoan xảy ra do sự tác động liên tục của lực ấn F_{a0} và mômen quay do cần khoan tạo ra. Việc tách, cắt phá đất đá dưới đáy hố khoan trong quá trình khoan xảy ra do tác động liên tục và đồng thời của lực ấn dọc trục và mômen quay tác động từ cần khoan lên các lưỡi cắt.



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên răng gầu khi ấn mũi dao vào nền

Dưới tác dụng của lực F_{a0} , lưỡi cắt bị ấn vào nền đất với độ sâu h_0 . Sự thâm nhập của lưỡi cắt vào nền đất chỉ xảy ra khi:

$$F_{a0} > S_0 \cdot \sigma \quad (1)$$

trong đó: S_0 là diện tích bề mặt của lưỡi cắt: $S_0 = l \cdot b_0$; l là chiều dài của lưỡi cắt (một cách gần đúng bằng bán kính của gầu), cm; b_0 là chiều rộng của lưỡi cắt, phần tiếp xúc với nền đất, cm và σ là giới hạn bền nén của đất đá, N/cm²;

Lưỡi cắt xâm nhập vào nền đất xảy ra khi: $F_{a0} / S_0 > \sigma$, tức là khi áp lực tác dụng lên nền đất lớn hơn sức kháng của nền trong quá trình khoan. Chú ý là lực tác dụng sẽ phải tăng lên khi độ mài mòn của lưỡi cắt tăng do nó làm tăng diện tích bề mặt tiếp xúc với đất đá.

Khi bắt đầu khoan, lực ấn gầu vào nền là F_a trên một lưỡi cắt có:

$$F_{a0} = \frac{F_a}{m} \quad (2)$$

trong đó: m là số lưỡi cắt trên gầu khoan;

N_1 và N_2 (hình 2) là các thành phần lực do đất tác dụng lên mặt sau và mặt trước của lưỡi cắt. Chống lại sự đi xuống của lưỡi cắt còn có các thành phần lực ma sát F_{ms1} của đất với mặt sau và F_{ms2} của đất với mặt trước của lưỡi cắt. Mối quan hệ giữa các thành phần lực này như sau:

$$\begin{aligned} F_{ms1} &= N_1 \cdot \mu = N_1 \cdot \tan \varphi \\ F_{ms2} &= N_2 \cdot \mu = N_2 \cdot \tan \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó: $\mu = \tan \varphi$ là hệ số ma sát giữa đất và dao cắt.

Lấy phương trình cân bằng lực theo phương ngang có:

$$N_2 - N_1 \sin \theta + F_{ms1} \cdot \cos \theta = 0 \quad (4)$$

Thay giá trị F_{ms} từ (3) vào (4) và rút N_2 ra có:

$$N_2 = N_1 (\sin \theta - \tan \varphi \cdot \cos \theta) = N_1 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \theta}{\cos \varphi} = N_1 \cdot \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (5)$$

Lấy phương trình cân bằng lực theo phương đứng:

$$F_{ao} - F_{ms2} - N_1 \cdot \cos \theta - F_{ms1} \cdot \sin \theta = 0 \quad (6)$$

Thay F_{ms1} , F_{ms2} từ (3) và N_2 từ (5) vào (6) có:

$$F_{ao} = N_1 \left[\frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \tan \varphi + \tan \varphi \cdot \sin \theta + \cos \theta \right] \quad (7)$$

Từ hình 2, với chú ý $\sigma_n = \sigma \cdot \cos \theta$ có:

$$N_1 = l \cdot A O \sigma_n = l \cdot \frac{h_0}{\sin \theta} \cdot \sigma \cdot \cos \theta = l \cdot h_0 \cdot \frac{1}{\tan \theta} \quad (8)$$

trong đó: σ_n là ứng suất nén theo phương pháp tuyến với mặt sau lưỡi cắt, N/cm^2 .

$$\text{Thay (8) vào (7) có: } F_{ao} = l \cdot h_0 \cdot \sigma \cdot \frac{1}{\tan \theta} \left[\frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \tan \varphi + \tan \varphi \cdot \sin \theta + \cos \theta \right] \quad (9)$$

$$\text{Đặt } \eta = \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \theta} \tan \varphi + \tan \varphi \cdot \sin \theta + \cos \theta \quad (10)$$

$$\text{Rút ra } h_o = \frac{F_{ao}}{\eta l \sigma} \tan \theta \quad (11)$$

Hệ số η phụ thuộc vào các thông số hình học của răng gầu và góc ma sát giữa răng gầu với nền đất φ . Thay các giá trị góc ma sát $\varphi = (20^\circ - 30^\circ)$, góc sắc $\beta = 20^\circ$; góc cắt $\delta = (30 - 55)^\circ$ tương ứng với góc sau $\theta = (35 - 15)^\circ$ vào biểu thức (10) nhận được $\eta = (1,112 - 1,285)$. Do góc ma sát giữa răng gầu với nền đất φ , sức kháng của nền đất đối với răng gầu σ khó có thể xác định được một cách chính xác nên để đơn giản trong tính toán có thể lấy $\eta = 1,3$. Cuối cùng có:

$$F_{ao} = 1,3 \cdot h_0 \cdot l \cdot \sigma \cdot \frac{1}{\tan \theta} \quad (12)$$

Lực cần thiết để ấn gầu vào nền đất với chiều sâu h_o là:

$$F_a = m \cdot F_{ao} = 1,3 \cdot m \cdot l \cdot h_0 \cdot \sigma \cdot \frac{1}{\tan \theta} \quad (13)$$

Khi cho trước lực ấn của gầu F_a , có thể xác định được chiều sâu phơi cắt:

$$h_o = \frac{F_a \tan \theta}{1,3 \cdot m \cdot l \cdot \sigma} \quad (\text{cm}) \quad (14)$$

Lực ấn F_a được phân đều ra các dao cắt trên gầu khoan. Khi đó lực ấn lên mỗi lưỡi cắt trên gầu khoan phải đảm bảo điều kiện:

$$F_{a0} = \frac{F_a}{m} > S_o \cdot \sigma$$

2.3 Tính toán quỹ đường, chiều sâu phơi cắt và vận tốc khoan

Quỹ đường lưỡi cắt thâm nhập vào nền đất sau 01 vòng quay là:

$$h_{av} = h_o \cdot m \quad (\text{cm}) \quad (15)$$

Tốc độ tiến dao của gầu khoan:

$$V_{av} = \frac{h_{av}}{t_r} = h_o \cdot m \cdot n, \quad (\text{cm/ph}) \quad (16)$$

trong đó: t_r là thời gian một vòng quay và n là tốc độ quay gầu khoan, v/ph;

Với một thời gian cho trước t , thì chiều sâu H của lưỡi cắt thâm nhập vào nền đất là:

$$H = h_o \cdot m \cdot n \cdot t, \quad (\text{cm}) \quad (17)$$

Khi dao cắt làm việc, độ mòn cùn của dao cắt phụ thuộc tuyến tính theo thời gian, sự thâm nhập của dao cắt vào nền đất sẽ giảm đi, khi này chiều sâu phoi cắt thực tế của lưỡi dao sẽ là: $h = h_o - y$, trong đó y là lượng mòn của dao theo hướng ăn dao.

Tốc độ khoan thực tế khi này là:

$$V_u = h \cdot m \cdot n = (h_o - y) \cdot m \cdot n, \quad (\text{cm/ph}) \quad (18)$$

Độ ăn sâu của gầu vào nền đất sau một vòng quay sẽ là:

$$h = \frac{V_u}{m \cdot n} \quad (\text{cm/vòng}) \quad (19)$$

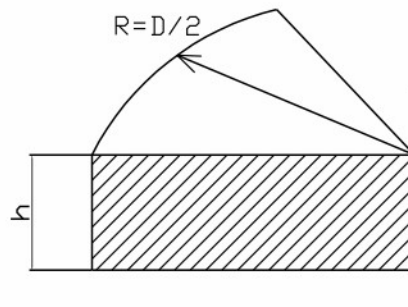
2.4 Tính công suất cần thiết để quay gầu khi cắt và tích đất vào gầu

Công suất cần thiết để khoan được xác định theo biểu thức:

$$P_f = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, (kW) \quad (20)$$

trong đó: P_1 là công suất cần thiết để phá vỡ đất; P_2 là công suất cần thiết để thắng lực cản ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất; P_3 là công suất cần thiết để quay cần và gầu khoan khắc phục lực cản của dung dịch khoan và P_4 là công suất cần thiết để thắng các lực cản do quá trình đưa phoi đất vào gầu;

a. Công suất cần thiết để phá vỡ đất



Hình 3. Phoi cắt khi tính lực cản phá vỡ đất

Khi nằm ở độ sâu h (hình 3) và chuyển động quay theo gầu để cắt đất, lưỡi cắt gặp phải sức kháng tiếp tuyến của nền đất T_o :

$$T_o = \frac{h \cdot k_p \cdot D}{2}, (N);$$

trong đó: k_p là lực cản cắt riêng của đất, N/cm^2 ; h là chiều sâu ăn của lưỡi cắt vào nền đất, cm và D là đường kính ứng với mép ngoài của lưỡi cắt, cm ;

Sức kháng tiếp tuyến của gầu, với số răng cắt m là:

$$T = m T_o = \frac{m \cdot h \cdot k_p \cdot D}{2}, (N);$$

Công suất cần thiết để tách các hạt đất, đá là:

$$P_1 = \frac{T \cdot v}{1000}, (kW); \quad (21)$$

trong đó: v là vận tốc theo phương tiếp tuyến của điểm đặt lực T . Theo [8], coi điểm đặt lực nằm tại vị trí cách tâm là $2/3$ bán kính tính đến mép ngoài của dao cắt, nên có:

$$v = \frac{2}{3} \frac{D.n\pi}{60.100} = \frac{D.n\pi}{90.100}, (m/s); \quad (22)$$

Từ đó có công suất cần thiết để tách các hạt đất đá là:

$$P_1 = \frac{T.v}{1000} = \frac{m.h.k_p.D}{2.1000} \cdot \frac{D.n\pi}{90.100} = \frac{\pi.m.n.h.k_p.D^2}{180.10^5}, (kW). \quad (23)$$

$$\text{Đặt } A = \frac{\pi.D^2}{4} \text{ có: } P_1 = \frac{n.m.h.k_p.A}{45.10^5}, (kW). \quad (24)$$

Do địa tầng của đất không đồng đều, vì vậy lực cản của nền cũng không đồng đều, nên công suất cần thiết để phá vỡ đất đá được điều chỉnh thông qua hệ số k_0 và được xác định như sau:

$$P_1 = k_0 \frac{n.m.h.k_p.A}{45.10^5}, (kW); \quad (25)$$

trong đó: k_0 là hệ số điều chỉnh, kể đến sự không đồng nhất của nền đất, $k_0 > 1$. Theo [8], thường lấy $k_0 = 2$. Thay giá trị của h từ (19) vào (25) có:

$$P_1 = k_0.k_p \frac{AV_u}{45.10^5}, (kW); \quad (26)$$

b. Công suất cần thiết để thắng lực cản ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất

Trong khi khoan, lực ma sát xuất hiện trên bề mặt phía sau và mặt bên của lưỡi cắt. Lực ma sát trên bề mặt phía sau của các lưỡi cắt là:

$$F_f = \mu.F_a, (N); \quad (27)$$

trong đó: μ là hệ số ma sát giữa dao và nền đất và F_a là lực ấn gầu khoan vào nền đất tương ứng với chiều sâu ấn dao là h .

Để kể thêm đến ma sát mép bên của lưỡi cắt đối với thành đứng hố khoan, tổng lực ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất được tính bằng cách nhân thêm hệ số k vào công thức (27) [8]:

$$F_f = k.\mu.F_a, (N); \quad (28)$$

Theo [8] lấy $k = 1, 2$.

Công suất cần thiết để thắng các lực cản ma sát lên dụng cụ công tác là:

$$P_2 = \frac{F_f.v}{1000} = \frac{k.\mu.F_a.v}{1000}, (kW); \quad (29)$$

Thay giá trị của v từ (22) vào (29) có

$$P_2 = \frac{\pi.k.\mu.n.D.F_a}{9.10^6}, (kW); \quad (30)$$

c. Công suất cần thiết để thắng lực cản của dung dịch khoan

Trong quá trình khoan, cần khoan và gầu nằm trong khối dung dịch khoan chứa đầy hố khoan. Khi quay, chúng có chuyển động tương đối với dung dịch khoan do đó xuất hiện mô men cản ma sát giữa bộ phận công tác với dung dịch khoan. Công suất cần thiết để thắng lực cản của dung dịch khoan có thể áp dụng công thức thực nghiệm theo tài liệu [8]:

$$P_3 = \alpha.\gamma.L.d^2.n^{\frac{3}{2}}, (kW); \quad (31)$$

trong đó: γ là tỷ trọng của dung dịch khoan, phụ thuộc vào môi trường khoan, g/cm^3 ; L là chiều dài của cần khoan ngập trong môi trường thủy lực, m ; d là đường kính ngoài của cần khoan, cm ; n là tốc độ quay cần khoan, vòng/ph và α là hệ số thực nghiệm [8]: Khoan có ống vách, $\alpha = 2,0.10^{-8}$; Khoan thăm dò, $\alpha = 0,9.10^{-8}$.

d. Công suất cần thiết để thắng các lực cản do quá trình đưa phoi đất vào gầu khoan

- Công suất cần thiết để thắng được các lực cản do quá trình đưa phoi đất vào gầu khoan được xác định bằng biểu thức sau:

$$P_4 = P_{41} + P_{42} \quad (32)$$

trong đó: P_{41} là công suất để thắng lực cản ma sát khi phoi cắt trượt trên mặt trên lưỡi cắt để đi vào gầu và P_{42} là công suất tiêu tốn để nâng đất vào gầu được tính ở cuối giai đoạn đầy gầu.

Công suất để thắng lực cản ma sát khi phoi cắt trượt trên răng gầu:

$$P_{41} = \frac{F_{ms} \cdot v}{1000} \quad (33)$$

Với chú ý $F_{ms} = T \cdot \mu = m \cdot h \cdot k_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{D}{2}, (N);$

Vận tốc tiếp tuyến v được lấy theo (22), cuối cùng có:

$$P_{41} = h \cdot k_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\pi \cdot n \cdot m \cdot D^2}{18 \cdot 10^6}, (kW); \quad (34)$$

- Công suất tiêu tốn để đưa đất vào gầu ở cuối giai đoạn đầy gầu được xác định như sau:

Lực cản để nâng đất lên độ cao của lớp đất trên cùng khi đầy gầu H_g là:

$$T_{n1} = m \cdot h \cdot H_g \cdot \gamma_d \cdot \frac{D}{2}, (N); \quad (35)$$

Lực cản ma sát do có sự trượt tương đối giữa đất với đất trong quá trình làm đầy gầu [6]

$$T_{n2} = m \cdot \gamma_d \cdot k_1 \cdot H_g^2 \cdot \frac{D}{2}, (N); \quad (36)$$

trong đó: k_1 là hệ số phụ thuộc vào góc ma sát trong của đất, theo [7]:

$$k_1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_1}$$

φ_1 là góc ma sát trong của đất.

γ_d là trọng lượng riêng của đất đá, N/cm^3 ;

Công suất tiêu tốn để đưa đất vào gầu ở cuối giai đoạn đầy gầu là:

$$P_{42} = \frac{T_{n1} + T_{n2}}{1000} \cdot v \quad (37)$$

Với v được xác định theo (22), cuối cùng có:

$$P_{42} = \left[h \cdot H_g + k_1 \cdot H_g^2 \right] \cdot \frac{\pi \cdot n \cdot m \cdot \gamma_d \cdot D^2}{18 \cdot 10^6}, (kW); \quad (38)$$

2.5 Ví dụ tính toán và nhận xét

Do chưa có điều kiện tiến hành đo thực nghiệm trên máy thực để xác định mômen cản tác dụng lên gầu khi khoan đất, để minh chứng cho tính đúng đắn của mô hình nghiên cứu, tác giả tiến hành áp dụng các công thức được xác lập ở trên để tính toán mômen và công suất cản trên máy khoan cọc nhồi KH125-3 khi sử dụng gầu khoan có đường kính từ D1000mm đến D1700mm ở độ sâu 60m tương ứng với đất cấp IV theo đặc tính cơ lý của đất được lấy theo các tài liệu [3], [7] như sau:

$$k_p = 20 N/cm^2; k_1 = 0,3; \gamma_d = 18 \cdot 10^{-3} N/cm^3; \theta = 35^\circ; \sigma = 140 N/cm^2; \gamma = 1,05 g/cm^3; \mu = \operatorname{tg} \varphi = 0,75.$$

Máy khoan KH125.3 có đường kính cần Kelly $d=30mm$, tốc độ quay 15-30 v/ph. Lực ấn gầu vào nền đất bằng trọng lượng của gầu và cần Kelly. Công suất động cơ dẫn động máy khoan $N=110kW$, mômen dẫn động đầu khoan $M=41kNm$. Các thông số của gầu được lấy theo tài liệu kỹ thuật của máy.

Có thể xác định mômen cản tính toán trên cần Kelly từ tổng công suất cản $\sum P$ và tốc độ quay cần Kelly n theo công thức sau (Bảng 1):

$$M_{can} = \frac{9550 \cdot \sum P}{n} (Nm) \quad (39)$$

Bảng 1. Kết quả tính toán mômen cần tính toán trên cần Kelly

Đường kính gầu D(mm)	Chiều cao gầu H _g (cm)	Tốc độ cần Kelly n (v/ph)	Lực ấn gầu P _a (N)	Chiều sâu phơi cát h _o (cm)	Công suất tính toán (kW)				Tổng công suất ΣP (kW)	Mômen M (kN.m)
					P ₁	P ₂	P ₃	P ₄		
1700	45	15	66000	1,49	9,0	52,8	4,2	5,2	71,2	45,33
		30			18,0	105,6	10,6	10,4	144,6	46,03
1600	50	15	64458	1,55	8,3	48,6	4,2	5,1	66,2	39,60
		30			16,6	97,2	10,6	10,2	134,6	42,85
1500	65	15	64154	1,64	7,7	45,3	4,2	5,8	63,0	40,11
		30			15,4	90,6	10,6	11,6	128,2	40,81
1400	70	15	63457	1,74	7,1	41,8	4,2	5,6	58,7	37,38
		30			14,2	83,6	10,6	11,2	119,6	38,07
1300	75	15	62858	1,86	6,5	38,5	4,2	5,4	54,6	34,76
		30			13,0	77,0	10,6	10,8	111,4	35,46
1200	90	15	62457	2,00	6,0	35,3	4,2	5,8	51,3	32,66
		30			12,0	70,6	10,6	11,6	104,8	33,36
1100	90	15	61708	2,15	5,4	32,0	4,2	5,0	46,6	29,67
		30			10,8	64,0	10,6	10,0	95,4	30,37
1000	90	15	60058	2,30	4,5	28,3	4,2	4,3	41,3	26,29
		30			9,0	56,6	10,6	8,6	84,8	27,00

- Với gầu có đường kính tối đa là D1700 khi làm việc với đất cấp IV, mômen cần tính toán trên cần khoan là 45,33 kNm, công suất khi gầu quay ở tốc độ 15 v/ph là 71,2 kW. So với mômen dẫn động của đầu khoan theo Catalog của máy KH125.3 là 41 kNm, vượt 10,5% và so với công suất động cơ máy cơ sở chiếm 64,7%. Trường hợp này chỉ cho phép máy làm việc ở cấp đất thấp hơn với tốc độ quay cần Kelly 15 v/ph. Ví dụ khi làm việc với đất cấp III có $k_p = 15 \text{ N/cm}^2$, giới hạn bền nén của đất $\sigma = 100 \text{ N/cm}^2$, hệ số ma sát ngoài $\mu = 0,6$ thì mô men cần trên cần khoan $M = 41,033 \text{ kN.m}$ và công suất 64,45 kW chiếm 58,5% công suất máy cơ sở.

- Với gầu có đường kính D1500mm, mômen cần tính toán trên cần khoan là 40,11 kNm, công suất khi gầu quay ở tốc độ 15 v/ph là 63,0 kW. So với mômen dẫn động của đầu khoan chiếm 97,8%. Trường hợp này máy có thể làm việc ở tốc độ 15 v/ph.

- Với gầu có đường kính D1400mm làm việc với đất cấp IV, mômen cần tính toán trên cần khoan là 37,38 kNm, công suất khi gầu quay ở tốc độ 30 v/ph là 119,6 kW. So với mômen dẫn động của đầu khoan chiếm 91% và so với công suất động cơ máy cơ sở vượt 8,7%.

- Với gầu có đường kính D1300mm, mômen cần tính toán trên cần khoan là 34,76 kNm, công suất khi gầu quay ở tốc độ 30 v/ph là 111,4 kW. So với mômen dẫn động của đầu khoan chiếm 84,7% và so với công suất động cơ máy cơ sở vượt 1,01%.

- Với các loại gầu có đường kính D1000mm đến 1200mm qua tính toán đều cho thấy với cấp đất IV, mômen cần và công suất cần ở tốc độ quay gầu tối đa là 30 v/ph đều có giá trị nhỏ hơn mômen và công suất dẫn động của máy cơ sở.

Thực tế cho thấy khi khoan ở cấp đất cứng, máy chỉ khoan được khi sử dụng gầu có đường kính D1000-D1500mm. Với đường kính gầu lớn hơn, chỉ khoan ở đất mềm với tốc độ vận hành là 15v/ph. Khi khoan với đường kính gầu nhỏ, máy vận hành với tốc độ quay gầu tối đa là 30 v/ph. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả tính toán.

3. Kết luận

- Xác định lực và mômen cần của đất tác dụng lên thiết bị công tác của máy khoan cọc nhồi kiểu gầu sẽ là cơ sở để tính toán kết cấu gầu và hệ dẫn động cho gầu khoan cũng như lựa chọn chế độ vận hành phù

hợp của máy khi cấp đất và đường kính lỗ khoan thay đổi. Cho tới nay rất ít các tài liệu trong và ngoài nước đề cập đến vấn đề này.

- Mô hình tính toán và các biểu thức xác định lực và mômen cũng như các thông số làm việc của gầu khoan được xây dựng dựa trên lý thuyết khoan xoay kiểu choòng, có chú ý đến đặc điểm cấu tạo và đặc điểm làm việc của gầu khoan thông qua ví dụ tính toán để so sánh với máy thực cho thấy kết quả nghiên cứu có thể chấp nhận được.

- Cần có các đo đạc khảo nghiệm trên máy thực để chứng minh tính đúng đắn của kết quả nghiên cứu. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng có thể áp dụng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên khi làm đồ án cũng như cán bộ kỹ thuật khi thiết kế cải tạo máy hoặc tính toán để lựa chọn chế độ vận hành của máy.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Hữu Đồng, Hoa Văn Ngũ, Lưu Bá Thuận (2004), *Máy làm đất*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
2. Đặng Đình Minh (2009), *Thi công cọc*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
3. Nguyễn Bá Kế (1997), *Thi công cọc khoan nhồi*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
4. Nguyễn Viết Trung, Lê Thanh Liêm (2010), *Cọc khoan nhồi trong công trình giao thông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
5. Phan Hồng Quân (2006), *Cơ học đất*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
6. Lưu Bá Thuận (2005), *Tính toán máy thi công đất*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
7. Lưu Bá Thuận (2010), *Máy làm đất và cơ giới hóa công tác đất*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
8. ST.MIHAILESCU (1983), *Masini de constructii si pentru prelucrarea agregatelor*, Editura didactică si pedagogica-Bucuresti 1983.