



NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHỤC VỤ TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ MÁY ĐÀO HẦM LOẠI TIẾT DIỆN TRÒN

Trần Đức Hiếu¹

Tóm tắt: Hiện ở Việt Nam, việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo, máy đào hầm còn nhiều hạn chế và hầu như chưa có các tài liệu mang tính chuyên khảo về vấn đề nêu trên được công bố. Để khắc phục những tồn tại trên, việc nghiên cứu xây dựng cơ sở tính toán cho máy đào hầm loại tiết diện tròn phục vụ cho công tác thiết kế và chế tạo là một đề tài cần thiết. Dựa trên cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy đào hầm kiểu khiên đào, có tham khảo các tài liệu của nước ngoài, bài báo trình bày phương pháp tính toán các thông số làm việc cơ bản của máy như: kích thước hình học, lực cản và công suất dẫn động các thiết bị trong tổ hợp máy.

Từ khóa: Máy đào hầm (khiên đào).

Summary: In Vietnam, the research design, manufacture and tunnel boring machine are limited and there is almost no identifiable monograph documents published on the problems mentioned. To overcome this shortcoming, the researchers on computational facility for tunnel boring machine with round section types serving for the design and fabrication are essential. Based on the structure and operating principle of the type of shield tunneling machine, with reference to the foreign material, the paper presents a method of calculating basic working parameters of the machine, such as geometric dimensions, resistance and power driven equipment combination machine.

Keywords: Tunnel boring machine (shield).

Nhận ngày 05/6/2015, chỉnh sửa ngày 19/6/2015, chấp nhận đăng 30/9/2015



1. Đặt vấn đề

Hầm và các không gian ngầm ngày càng có vai trò quan trọng trong hệ thống giao thông hiện đại. Hầu hết các thành phố lớn trên thế giới đều phải đối mặt với nhiều vấn đề, đặc biệt là giao thông. Kết cấu hạ tầng nhìn chung là không còn đáp ứng được nhu cầu đi lại và vận chuyển không ngừng gia tăng. Trong bối cảnh đó thì không gian giao thông theo hướng trên cao và theo hướng đi ngầm trong lòng đất được xem là xu hướng nghiên cứu và ứng dụng ở các nước công nghiệp phát triển. Mặt khác, công trình ngầm có những ưu thế vượt trội so với các loại hình giao thông khác nhờ sự đi lại nhanh chóng, tiện lợi. Giao thông ngầm là xu thế phát triển tất yếu của một nền kinh tế hiện đại của thế giới.

Ở các thành phố lớn của Việt Nam đang phải đối mặt với tình trạng ùn tắc giao thông ngày càng nghiêm trọng. Để giải quyết vấn đề trên Nhà nước đã có các dự án đầu tư lớn cho ngành giao thông như: xây dựng các tuyến đường sắt trên cao (có một phần đi ngầm dưới lòng đất); tại Thành phố Hồ Chí Minh đang xây dựng các tuyến giao thông ngầm (đường sắt ngầm - Metro).

Khiên đào là một loại thiết bị cơ giới thi công cỡ lớn đào các đường hầm. Nó bao gồm các chức năng như: đào, che chống, làm vỡ hầm. Loại này thường được dùng chủ yếu trong thi công đường hầm có địa tầng mềm yếu, phức tạp. Khiên đào có nhiều loại. Theo hình dạng mặt cắt của khiên có: hình tròn, chữ nhật, móng ngựa. Theo phương thức đào có: đào thủ công, bán thủ công, cơ giới hóa toàn bộ. Theo cấu tạo bộ phận trước của khiên đào có: loại ngực trần, loại ngực kín và theo phương thức thoát nước và ổn định mặt đào có: phương thức nén bùn và nước, cân bằng áp lực đất không dùng khí nén, khí nén cục bộ, khí nén toàn bộ...

¹ TS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: hieu40m@gmail.com.

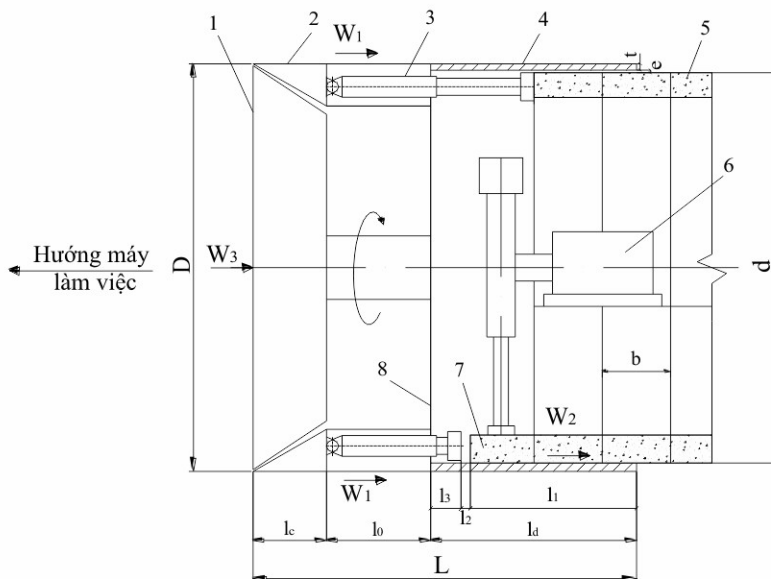
Hiện ở nước ta, việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy đào hầm còn nhiều hạn chế và hầu như chưa có các tài liệu mang tính chuyên khảo về vấn đề nêu trên được công bố. Để khắc phục những tồn tại trên, việc nghiên cứu xây dựng cơ sở tính toán cho máy đào hầm loại tiết diện tròn phục vụ cho công tác thiết kế và chế tạo là cần thiết.



2. Mô hình tính và xác định các thông số làm việc của máy đào hầm kiểu khiên đào

2.1 Mô hình và cơ chế hoạt động của máy

Khiên đào là một loại kết cấu thép dạng ống gồm 3 phần (Hình 1): phần đầu ống được che kín có lắp các dao cắt trên đầu cắt dùng để đào đất; phần thân (đoạn giữa của ống) được lắp các kích đẩy bố trí theo chu vi của thân máy để đẩy máy tiến về phía trước; phần đuôi có các thiết bị để lắp ráp các tấm vỏ hầm bê tông đúc sẵn hoặc các vành thép để đổ bê tông vỏ hầm. Mỗi lần khiên tiến lên một đoạn, thì sẽ lắp đặt (hoặc đổ tại chỗ) một đoạn vỏ hầm dưới sự che chống của khiên, đồng thời người ta sẽ ép vữa xi măng cát vào khe hở đằng sau lưng các đoạn bê tông để phòng hầm và mặt đất lún xuống. Phản lực đẩy khiên tiến lên do đoạn bê tông vỏ hầm chịu.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo chung của máy đào hầm kiểu khiên đào

1-dao cắt; 2-vỏ máy; 3-xilanh thủy lực di chuyển máy về phía trước; 4-phần đuôi; 5-vỏ hầm; 6-thiết bị lắp vỏ hầm; 7-vị trí lắp đoạn đầu tiên của 1 vòng vỏ hầm, các tấm tiếp theo sẽ được đối xứng; 8-thanh chống đứng (vách ngăn)

2.2 Các thông số hình học cơ bản của máy đào hầm kiểu khiên đào

Kích thước hình học cơ bản của máy đào hầm như Hình 1 được xác định phụ thuộc vào đường kính và chiều rộng của 1 đoạn vỏ hầm, điều kiện địa chất và hình dạng thiết bị đào hầm [2].

Đường kính ngoài của máy (D) được xác định theo công thức sau:

$$D = d + e + 2t, \text{ m} \quad (1)$$

trong đó: d là đường kính ngoài của vỏ hầm, (m); e là khe hở xây dựng giữa vỏ hầm và phần đuôi của máy, (m). Khe hở xây dựng cần thiết cho sự thuận tiện lắp ghép vỏ hầm và đảm bảo khả năng di chuyển của máy trên đường cong. Khe hở xây dựng thường được lấy bằng $0,008d$ và t là độ dày vỏ đuôi máy; đối với máy đào hầm $t = 0,03 \div 0,04 \text{ m}$;

Cuối cùng có thể viết: $D = 1,008d + 2t, \text{ m}$.

Chiều dài của máy gồm chiều dài phần đầu, phần thân, phần đuôi được xác định theo công thức sau:

$$L = l_c + l_d + l_o, \text{ m} \quad (2)$$

trong đó: l_c là chiều dài phần đầu phụ thuộc vào sự ổn định của lớp đất đào. Với lớp đất ổn định nên lấy $l_c = 1,0 \div 1,2 \text{ m}$. Với lớp đất không ổn định nên lấy $l_c = 1,3 \div 1,7 \text{ m}$ và l_o là chiều dài phần thân được xác định theo công thức sau:

$$l_0 = (1,6 \div 2) \cdot b, \text{ m} \quad (3)$$

trong đó: b là bề rộng 1 đoạn vỏ hầm, m và l_0 là chiều dài phần vỏ đuôi máy được xác định theo công thức:

$$l_0 = l_1 + l_2 + l_3, \text{ m} \quad (4)$$

trong đó: l_1 là chiều dài khu vực lắp ghép vỏ, phủ lại phần vỏ đuôi. $l_1 = (1,2 \div 2,2)b$. Kích thước nhỏ với lớp đất ổn định, kích thước lớn với lớp đất không ổn định; l_2 là khe hở bộ đỡ kích thủy lực và mặt đầu của đoạn vỏ hầm đầu tiên, $l_2 = 0,15 \div 0,20 \text{ m}$ và l_3 là chiều dài kích thủy lực (bao gồm cả bộ đỡ ở trạng thái pittông được co vào hết), $l_3 = 0,60 \div 0,70 \text{ m}$.

Gọi $M = L/D$ là hệ số cơ động của máy đào hầm tức là khả năng di chuyển phù hợp của máy trên tuyến đường cong. Đối với máy đào hầm không cơ giới hóa có đường kính trung bình $M = 0,8 \div 1$; đường kính lớn $M = 0,45 \div 0,6$. Đối với đường kính nhỏ thì M có thể lớn hơn 1.

Đối với máy đào hầm cơ giới hóa hiện đại, tính cơ động của đầu máy được đảm bảo với việc tạo ra liên kết khớp bản lề giữa đầu máy và thân máy.

2.3 Xác định lực cản di chuyển của máy và lực đẩy của kích thủy lực

Tổng lực cản di chuyển của máy được hợp thành từ ba thành phần (Hình 1): lực ma sát giữa bề mặt của vỏ máy với đất (W_1); lực ma sát giữa bề mặt trong của vỏ đuôi máy với vỏ hầm (W_2); lực cản phía trước đầu máy (W_3) [3]. Với giả thiết nền đất đồng nhất đẳng hướng.

$$W_c = W_1 + W_2 + W_3, \text{ kN} \quad (5)$$

trong đó: W_c là tổng lực cản di chuyển của máy và W_1 là lực ma sát giữa vỏ máy và đất đá;

$$W_1 = f_{ms1} [2(q_d + q_n) \cdot L \cdot D + G_m], \text{ kN} \quad (6)$$

trong đó: f_{ms1} - hệ số ma sát giữa thép và đất; $f_{ms1} = 0,32 \div 0,64$; q_d - áp lực thẳng đứng của đất lên vỏ máy, kN/m^2 , (Hình 2).

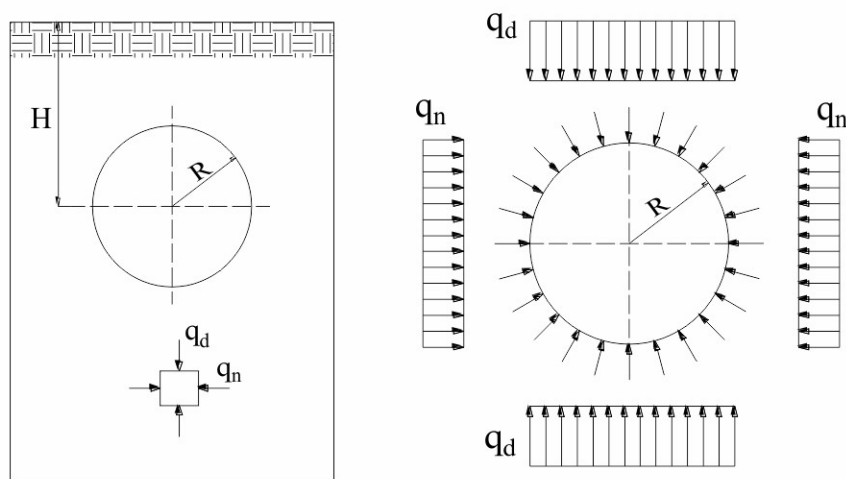
$$q_d = \gamma \cdot H, \text{ KN/m}^2 \quad (7)$$

trong đó: γ là trọng lượng riêng của đất (kN/m^3); H là độ sâu của hầm ($H \leq 50 \text{ m}$) và q_n là áp lực ngang của đất lên vỏ máy, kN/m^2 ;

Khi máy di chuyển, đất phía sau máy bị giãn ra, áp lực ngang của đất giảm trong khi áp lực đứng không đổi. Đường trạng thái ứng suất chuyển dần về vị trí giới hạn ứng với sự cân bằng chủ động. Khi này áp lực ngang chủ động của đất q_n tác dụng lên máy được xác định theo công thức sau:

$$q_n = q_d \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = q_d \cdot k_0, \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

trong đó: k_0 là hệ số áp lực ngang của đất đá hay còn gọi là hệ số áp lực đất chủ động (hệ số nở hông); φ là góc ma sát trong của đất; L, D là chiều dài và đường kính ngoài của máy, m ; và G_m là trọng lượng của máy, kN .



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên vỏ máy

W_2 - lực ma sát giữa phần vỏ đuôi máy và phần vỏ hầm nằm ở phần vỏ đuôi máy :

$$w_2 = f_{ms2} \cdot G_h, \text{ KN} \quad (9)$$

trong đó: G_h là trọng lượng phần vỏ hầm nằm ở phần vỏ đuôi máy, KN và f_{ms2} là hệ số ma sát giữa thép và vật liệu làm vỏ hầm; (Vật liệu làm vỏ hầm: Bê tông $\rightarrow f_{ms2} = 0,5$; gang $f_{ms2} = 0,18$);

W_3 - lực cản do áp lực ép hông của đất đá ở bề mặt gương lò (ngược hướng với hướng di chuyển của máy), phụ thuộc vào phương pháp thi công :

Đào hầm được thực hiện bằng khiên đào (với phương pháp đào kín):

$$W_3 = A_{gl} \cdot q_n, \text{ KN} \quad (10)$$

trong đó: A_{gl} là diện tích gương lò (diện tích mặt đào); $A_{gl} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ m}^2$

Khi máy di chuyển về phía trước làm cho đất phía trước máy bị nén chặt lại, áp lực đất lên máy tăng lên. Đường trạng thái ứng suất dịch chuyển về vị trí giới hạn ứng với trạng thái cân bằng giới hạn bị động. Áp lực đất nằm ngang bị động tác dụng lên máy được tính theo công thức:

$$q_n = q_d \cdot tg^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = q_d \cdot k_b \quad (11)$$

trong đó: k_b là hệ số áp lực đất bị động (hệ số ép hông).

$$W_3 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \gamma \cdot H \cdot tg^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \gamma \cdot H \cdot k_b \quad (12)$$

2.4 Tính lực đẩy của máy

Để đảm bảo máy di chuyển được thì lực đẩy cần đảm bảo điều kiện:

$$F_d \geq W_c \cdot k_{at}, \text{ KN} \quad (13)$$

trong đó: F_d là lực tính toán để đẩy máy (KN); k_{at} là hệ số an toàn; $k_{at} = 1,05 \div 1,15$ theo [2] và W_c là lực cản di chuyển của máy, KN.

2.5 Xác định tổng lực của kích thủy lực để đẩy máy

$$\sum F_{xl} = k_d \cdot F_d \quad (14)$$

trong đó: k_d là hệ số tính đến sự làm việc không đồng đều của các xilanh thủy lực, thường chọn $k_d = 1,1 \div 1,5$.

Lực đẩy của một xilanh thủy lực :

$$F_{1xl} = \frac{\sum F_{xl}}{n_{xl}} \quad (15)$$

trong đó: n_{xl} là số lượng xilanh thủy lực đẩy máy.

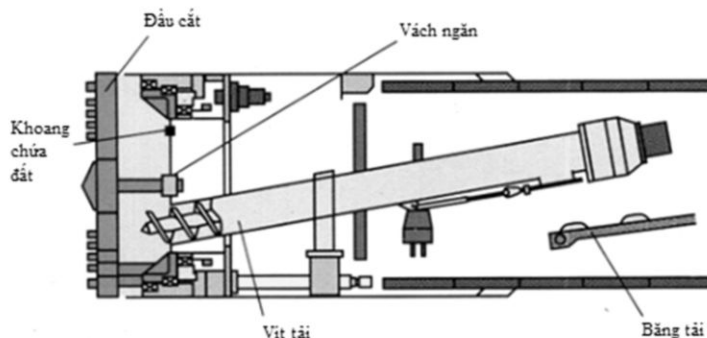
$$D_{xl} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{1xl}}{1000 \cdot \pi \cdot p_k}} \quad (16)$$

trong đó: D_{xl} là đường kính xilanh thủy lực, m; F_{1xl} là lực của kích thủy lực, KN và $p_k = 20 \text{ MPa}$ là áp lực làm việc lớn nhất cho phép của dầu trong hệ thống thủy lực.

Máy đường kính nhỏ (tiết diện $S \leq 16 \text{ m}^2$) $\rightarrow n_{xl} = 12 \div 16$; Máy đường kính trung bình (tiết diện $S = 16 \div 30 \text{ m}^2$) $\rightarrow n_{xl} = 16 \div 24$; Máy đường kính lớn (tiết diện $S > 30 \text{ m}^2$) $\rightarrow n_{xl} = 24 \div 36$.

2.6 Xác định công suất của máy

Phương pháp tính công suất của cơ cấu chấp hành phụ thuộc vào nhóm cơ cấu chấp hành: Bài báo giới hạn tính toán với cơ cấu chấp hành loại roto dạng đĩa bố trí răng cắt hướng tâm, thi công hầm theo phương pháp dùng vữa sét có áp (BS - TBM) [1]. Dùng vít tải lấy đất từ khoang chứa đổ lên băng tải, được mô tả như trên Hình 3.



Hình 3. Máy đào hầm thi công hầm theo phương pháp dùng vữa sét có áp (BS - TBM)

Máy đào hầm với cơ cấu chấp hành roto dạng đĩa:

Công suất cần thiết:

$$N = N_{DC} + N_C + N_{DCD} + N_{VC}, \text{ KW} \quad (17)$$

trong đó: N_{DC} là công suất cần thiết để di chuyển máy (kW) được xác định theo công thức:

$$N_{DC} = \frac{W_C \cdot V_{DC}}{1000\eta}, \text{ KW} \quad (18)$$

trong đó: W_C là lực cản xuất hiện khi máy di chuyển, N; V_{DC} là vận tốc di chuyển của máy, m/s và N_C là công suất cần thiết để cắt đất đá:

$$N_C = \frac{M_C \cdot n_{DC}}{1000\eta}, \text{ KW} \quad (19)$$

trong đó: n_{DC} là vận tốc quay của roto, vòng/phút; M_C là mô men cắt đất, là mô men do lực cắt đất gây ra đối với trục quay của máy, Nm và η là hiệu suất truyền động, $\eta = 0,85 \div 0,9$.

Để phá hủy đất đá bằng dao cắt cần phải đặt lực vào dao cắt. Đối với đất đá khi có các tính chất cơ - lý như nhau thì lực cắt phụ thuộc vào: diện tích, độ dày, độ rộng và phần cắt sơ bộ của lớp đất đá được cắt, độ lớn của góc trước của dao cắt và độ cùn của lưỡi cắt.

Phương trình biểu diễn sự phụ thuộc này được viết dưới dạng công thức sau [3]:

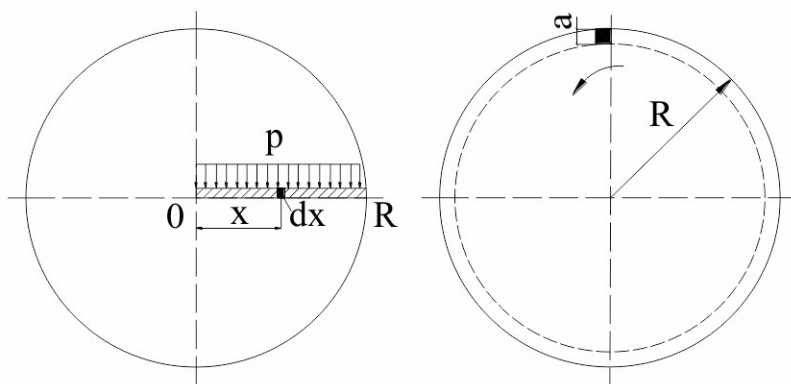
$$P_{cr} = \frac{P'_e(0,6.a.h + C.h^2 + K.a^2). \sin \beta}{a.h. \sin(\beta + \gamma)} \cdot 10, \text{ N/cm}^2 \quad (20)$$

trong đó: P_{cr} là lực cản cắt riêng; P'_e là hệ số lực cản cắt của đất đá (trong mặt cắt định trước của phoi), N/cm^2 ; a là bề rộng của phoi, cm; h là chiều dày của phoi, cm; C là hệ số, đặc trưng cho độ lớn phần cắt sơ bộ của bề mặt phoi; K là hệ số phản ánh độ cùn của dao cắt ở mặt sau; β là góc trượt của đất, độ và γ là góc trước của dao cắt, độ.

Lực cản cắt trên một lưỡi dao cắt:

$$P = P_{cr} \cdot A_{ph}, \text{ N} \quad (21)$$

trong đó: P là lực cản cắt, N; $A_{ph} = a.h$ là diện tích mặt cắt của phoi không bị sụp đổ, cm^2 .



Hình 4. Sơ đồ tính mô men cắt đất

Xét trên một phần tử diện tích phoi cắt ta có lực cản cắt trên chiều dài 1 phần tử diện tích: $p = P/a$, N/cm .

Mô men do lực cắt đất p gây ra đối với trục quay khi coi dao cắt bố trí liên tục trên suốt bán kính của khiên đào:

$$dM_C = p.x.dx \quad (22)$$

Tích phân hai vế của M_C theo x , trong đó x thay đổi từ $0 \div R$

$$\rightarrow M_C = \int_0^R p.x.dx = \frac{pR^2}{2}, \text{ N.M} \quad (23)$$

trong đó: N_{DCD} là công suất dịch chuyển khối đất bên trong khoang chứa đất:

$$N_{DCD} = \frac{F_{ms} \cdot V_{DC}}{1000\eta}, \text{ kW} \quad (24)$$

trong đó: F_{ms} là lực ma sát giữa phần đất được dịch chuyển với vỏ máy:

$$F_{ms} = G_D \cdot f_{ms} \cdot N \quad (25)$$

trong đó: G_D là trọng lượng của đất trong khoang chứa đất, N; f_{ms} là hệ số ma sát giữa đất và thép và $f_{ms} = 0,5$.

Tốc độ di chuyển lớn nhất V_{DC} của máy được xác định theo chi phí dầu thủy lực làm việc trong hệ thống thủy lực (trong các xilanh thủy lực) của máy, bằng lưu lượng trung bình Q_T được cung cấp bởi bơm thủy lực:

$$V_{DC} = \frac{4Q_T}{\pi \cdot D_{xl}^2 \cdot n_d} \quad (\text{m/h}) \quad (26)$$

trong đó: Q_T là lưu lượng chung của bơm cao áp, m^3/h ; $n_d = (0,7 \div 0,8)n_{xl}$ là số lượng xilanh thủy lực làm việc đồng thời; n_{xl} là số lượng xilanh và D_{xl} là đường kính xilanh, m.

trong đó: N_{vc} là công suất vận chuyển đất đá ra ngoài khoang công tác (đổ lên băng tải).

Công suất này được xác định theo năng suất của vít tải. Bằng biện pháp cân bằng cột áp lực đất, nghĩa là trong máy luôn luôn chứa đất để cân bằng với áp lực đất bên ngoài tác dụng vào máy. Sau khi máy cắt đất và được tích đất bên trong khoang đủ để cân bằng với cột áp bên ngoài (theo tính toán từng loại máy) thì lượng đất cắt cần được vận chuyển ra khỏi khoang đào. Như vậy, thể tích đất cắt được trong 1 giờ chính bằng năng suất của vít tải:

Năng suất cắt đất của máy đào hầm i:

$$\Pi_M = \frac{\pi D^2}{4} V_{DC} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (27)$$

Công suất để vận chuyển đất được xác định theo công thức sau, [4]:

$$N_{VT} = \frac{\Pi_{VT} \cdot \gamma \cdot L_{VT} \cdot \omega_c \cdot g}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta} \quad (\text{kW}) \quad (28)$$

trong đó: Π_{VT} là năng suất vít tải, m^3/h ; $\Pi_{VT} = \Pi_M$; γ là khối lượng riêng của đất, kg/m^3 ; L_{VT} là chiều dài vít tải, m; η là hiệu suất truyền động, $\eta = 0,8 \div 0,9$; g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ và ω_c là hệ số lực cản của đất, $\omega_c = 4 \div 5,5$.



3. Kết luận

Kết quả công trình nghiên cứu: đưa ra được phương pháp tính lực cản di chuyển máy, lực cản cắt đất, công suất dẫn động các thiết bị trong tổ hợp máy. Ứng dụng của công trình nghiên cứu vào: tính toán thiết kế máy, lựa chọn hợp lý một số thông số chính của máy và góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng khai thác máy.

Tài liệu tham khảo

1. А. Г. Херпенкхет (2008), *Справочник Бестраншейные технологии в России*.
2. С. Н. Киселев (1987), *Проходческие Щиты Для Сооружения Тоннелей*.
3. С. Н. Киселев, Н. Е. Черкасов (1966), *Тоннельные Машины*.
4. Vũ Liêm Chính, Nguyễn Thiệu Xuân, Trần Văn Tuấn, Nguyễn Thị Thanh Mai, Nguyễn Kiểm Anh (2014), *Máy sản xuất vật liệu và cấu kiện xây dựng*, Nhà xuất bản Xây dựng.