■Ngày nhận bài: 26/02/2025 ■Ngày sửa bài: 18/3/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2025

# Xác định mức tiêu hao năng lượng đào đất của máy ủi

## Determining the energy consumption of the bulldozer

**> TS TRẦN ĐỨC HIẾU**
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: hieutd@huce.edu.vn

**TÓM TẮT**

Phương pháp xác định mức tiêu hao năng lượng của máy ủi có thể được sử dụng như một phần của hệ thống phương pháp hiện có để tính toán thiết kế máy ủi trong các giai đoạn lựa chọn và xác định thông số kỹ thuật. Phương pháp này cho phép xác định các giá trị hợp lý các thông số kỹ thuật chính của máy ủi, cũng như cung cấp dữ liệu cần thiết cho các bước tính toán tiếp theo. Các thông số đầu vào này là cơ sở để lựa chọn máy ủi phù hợp và thực hiện các tính toán về công suất, năng suất, độ bền, công thái học, môi trường, kỹ thuật và kinh tế. Phương pháp này giúp xem xét hợp lý ảnh hưởng của các yếu tố điều kiện vận hành đến các thông số kỹ thuật của máy. Việc tích hợp phương pháp luận vào hệ thống tính toán hiện có có thể được thực hiện theo nhiều cách khác nhau, tùy thuộc vào bản chất vấn đề và thông tin đầu vào. Bài báo trình bày các vấn đề liên quan đến việc sử dụng thiết bị một cách hợp lý, thông qua phân tích điều kiện vận hành để xác định mức tiêu hao năng lượng của máy ủi.

**Từ khóa:** Máy ủi; công suất; năng suất; mức tiêu hao năng lượng; lực cản.

**ABSTRACT**

The method for determining the energy consumption of a bulldozer can be used as part of the existing methodological system for bulldozer design calculations during the stages of parameter selection and specification. This approach enables the determination of reasonable values for the bulldozer's key technical parameters, as well as the provision of necessary data for subsequent calculations. These initial parameters serve as a foundation for selecting appropriate bulldozers and performing calculations related to power, productivity, durability, ergonomics, environmental impact, technical performance, and economic efficiency. The method also allows for a more rational consideration of the impact of operational conditions on the machine's technical characteristics. Integrating this methodology into the existing calculation framework can be carried out in various ways, depending on the nature of the problem and the input data. The paper addresses issues related to the efficient use of equipment by analyzing operational conditions to determine the bulldozer's energy consumption.

**Keywords:** Bulldozer; power; productivity; energy consumption; resistance.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy ủi là máy chủ đạo trong nhóm máy đào và vận chuyển đất, máy ủi được sử dụng phổ biến và hiệu quả nhất để thực hiện các công việc đào đắp đất đa dạng. Khối lượng thi công đất hàng năm được thực hiện ở nước ta là rất lớn và chúng được thực hiện bằng nhiều loại máy thi công đất khác nhau như: máy đào một gầu, máy san và máy ủi.

Quy trình làm việc của máy ủi**:** đào, di chuyển (vận chuyển) và phân phối lớp đất. Để tách lớp đất từ khối đất, bộ phận dao cắt của bàn ủi được ấn sâu vào trong tầng đất đồng thời máy ủi di chuyển về phía trước. Lớp đất tách từ khối đất được tích trước bàn ủi tạo thành hình khối lăng trụ kéo dài (khối đất lăn). Quá trình cắt đất được thực hiện khi khối đất tích phía trước không vượt quá mép bàn ủi. Bàn ủi có dạng cong và khi máy ủi cắt đất, khối đất cắt di chuyển (đổ) về phía trước.

Thiết bị công tác cơ bản của máy ủi là bàn ủi. Phụ thuộc vào đặc điểm làm việc mà bàn ủi có kết cấu khác nhau. Bàn ủi có biên dạng cong, phía dưới phẳng để lắp dao cắt do dao cắt của máy ủi có dạng phẳng. Do có biên dạng như vậy mà trong quá trình đào và tích đất sẽ giảm được lực ma sát giữa đất và bàn ủi khi đất cuộn lên phía trên bàn ủi, đồng thời đảm bảo cho đất mặc dù có thể cuộn lên cao hơn bàn ủi nhưng không bị rơi vãi lại phía sau bàn ủi mà luôn luôn đổ về phía trước bàn ủi. Mặt khác, cũng nhờ có biên dạng cong mà tăng khả năng chứa và tích đất trước bàn ủi. Những đặc điểm nêu trên của bàn ủi góp phần đáng kể vào việc tăng năng suất máy.

Năng lượng đào đất bằng máy ủi phần lớn được xác định bởi hình dạng và kích thước của bàn ủi [1, 3]. Các thông số chính của bàn ủi cố định (hình 1) là góc cắt α, góc đổ $\delta_3$, góc nghiêng $\alpha_1$, độ cong hoặc bán kính của bàn ủi R, chiều cao H và chiều dài L của bàn ủi, góc sau $\alpha_0$, góc sắc (nhọn) β, chiều cao tấm chắn $H_k$ và chiều dài của bề mặt dao cắt a. Khi phần thẳng của lưỡi dao tăng lên, điều kiện di chuyển phoi dọc theo lưỡi dao trở nên khó khăn hơn và mức tiêu thụ năng lượng khi đào cũng tăng lên.

Thông số đánh giá quá trình cắt đất là mức năng lượng tiêu tốn trên một đơn vị thể tích đất bị phá hủy ($Nm/m^3$) hoặc ($kW.h/m^3$) còn được gọi là mức tiêu hao năng lượng riêng. Mức tiêu hao năng lượng riêng tỉ

lệ với giá trị lực cản cắt riêng. Cần phải hướng đến chế độ và các điều kiện làm việc, trị số có mức tiêu hao năng lượng riêng là nhỏ nhất. Mức tiêu hao năng lượng riêng được xác định bằng phương pháp thực nghiệm hoặc tính theo công thức: $E = {}^{N}/_{\Pi}$ (kW.h/m$^3$), trong đó: $N$ - công suất của máy (kW); $\Pi$ - năng suất kỹ thuật của máy (m$^3$/h). Mức tiêu hao năng lượng trong quá trình cắt đất phụ thuộc vào tính chất cơ lý của đất, vào kích thước và kết cấu bộ phận công tác. Đối với máy thi công đất E= (0,3 ÷ 0,7) kW.h/m$^3$, [l].

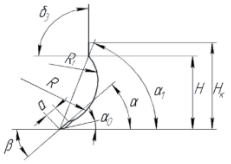
Đối với máy ủi có bàn ủi cố định (máy ủi thường), góc cắt phải nằm trong khoảng 40-50$^0$, góc nghiêng 70-75$^0$, góc nghiêng 75-80$^0$, chiều dài phần thẳng của lưỡi dao ở phía dưới không được vượt quá chiều rộng của dao, bán kính phần cong ở phía dưới phải bằng 0,8 chiều cao của bàn ủi, ở phía trên bằng 1,1 chiều cao của bàn ủi. Giá trị thông số cấu hình lớn hơn hoặc nhỏ hơn đều làm giảm hiệu quả của lưỡi dao.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

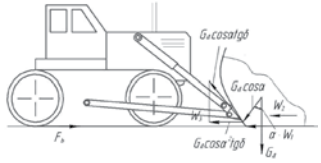
### 2.1. Mô hình toán học của mức tiêu hao năng lượng đào đất bằng máy ủi

Khi tính toán cần phải thực hiện tính toán lực kéo của máy trong quá trình vận hành. Lực cản xác định phụ thuộc vào các thông số thiết kế chính của máy, là các thiết kế được cải tiến hoặc lựa chọn hợp lý hơn dựa trên quá trình làm việc và phân tích các tài liệu khoa học, kỹ thuật. Để thiết lập hiệu quả sử dụng một tiêu chí làm việc cụ thể như cường độ năng lượng nhỏ nhất của quá trình đào đất có thể được sử dụng làm tiêu chí.

Xét lực cản phát sinh trên bàn ủi khi đào đất liên quan đến phương pháp làm việc phổ biến nhất là đẩy đất từ phía trước khi đào đất (không đào rãnh). Sơ đồ hoạt động của máy ủi được thể hiện ở hình 2.



Hình 1. Thông số hình học của bàn ủi cố định



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng khi máy ủi làm việc

Xác định lực cản trên bàn ủi khi làm việc cần phải thoả mãn điều kiện sau [l, 2]:

$$\sum W_0 \le G_b\varphi \le T \quad (1)$$

Trong đó: $G_b$ - trọng lượng bám của máy ủi, đối với máy ủi di chuyển bằng bánh lốp thì trọng lượng bám bằng trọng lượng trên bánh xe chủ động, đối với máy ủi di chuyển bằng xích thì trọng lượng bám bằng tổng trọng lượng của máy ủi; $\varphi$ - hệ số bám; $T$ - lực kéo của máy cơ sở; $\sum W_0$- tổng lực cản phát sinh khi đào đất.

$$\sum W_0 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \quad (2)$$

Trong đó: $W_1$- lực cản cắt (kG); $W_2$- lực cản di chuyển khối đất trước bàn ủi (kG); $W_3$- lực cản chuyển động của đất bên trong bàn ủi; $W_4$- lực cản chuyển động của máy; $W_5$- lực cản từ ma sát của dao cắt với nền đất (do kích thước nhỏ của dao cắt nên có thể chấp nhận = 0).

Lực cản phát sinh trên bàn ủi khi làm việc được xác định như sau [l, 3, 5]:

$$W_1 = Ch^{1.35}(1 + 2{,}6L)(1 + 0{,}01\alpha) \quad (3)$$

Trong đó: $C$- số lần va đập của búa đập Đornhi (mật độ kế); $h$ - chiều sâu cắt; $\alpha$ - góc cắt.

$$W_2 = V_đ.\gamma.tg\varphi = \frac{LH^2}{2k_1}.\gamma.tg\varphi \quad (4)$$

Trong đó: $V_đ$- thể tích thực tế của khối đất lăn (m$^3$); $\gamma$- khối lượng riêng của đất (kg/m$^3$);

$tg\varphi$- hệ số ma sát giữa đất với đất. Đối với đất liên kết (dính) $tg\varphi$ =0,5, đối với đất không liên kết $tg\varphi$ = 0,7. Giá trị lớn nhất $tg\varphi$ = 1,0

$$V_đ = \frac{LH^2}{2k_1} \quad (5)$$

Trong đó: L - chiều dài bàn ủi; H - chiều cao bàn ủi; $k_1$ - hệ số phụ thuộc tỷ số H/L. [l, 6]

$$W_3 = V_đ.\gamma.cos^2\alpha.tg\delta = \frac{LH^2}{2k_1}.\gamma.cos^2\alpha.tg\delta \quad (6)$$

Trong đó: $tg\delta$ - hệ số ma sát của đất với thép. Với cát $tg\delta = 0{,}35$; Với á sét vừa $tg\delta = 0{,}5$; Với á sét nặng $tg\delta = 0{,}8$.

$$W_4 = G(f \pm i) \quad (7)$$

Trong đó: $G$ - trọng lượng của máy ủi (kG); $f$ – hệ số cản di chuyển của máy ủi, $f = 0{,}1 \div 0{,}12$; dấu (+) lên dốc, dấu (-) xuống dốc; $i = tg\beta$- độ dốc địa hình (độ).

Khi góc nghiêng địa hình $\beta \ge 10^0$ kết quả chính xác hơn được tính như sau:

$$W_4 = G(fcos\beta \pm sin\beta) \quad (8)$$

Dựa trên việc xác định lực cản của quá trình đào đất và lực cản chuyển động của máy cơ sở, công suất của máy ủi sẽ được xác định như sau:

$$N = \frac{Tv_c}{102.\eta} \quad (9)$$

Trong đó: $T$ - lực kéo của máy cơ sở, bằng tổng các lực cản; $v_c$- tốc độ của máy ủi khi cắt đất; $\eta$ - hiệu suất, thường chọn $\eta = 0{,}9$. Khi tính công suất máy có thể coi $T = W_0$

$$T = C.h^{1.35}(1 + 2{,}6L)(1 + 0{,}01\alpha) + \frac{L.H^2}{2k_1}.\gamma.tg\varphi + \frac{L.H^2}{2k_1}.\gamma.cos^2\alpha.tg\delta + G.f \quad (10)$$

### 2.2. Xác định năng suất máy ủi

Năng suất máy ủi phụ thuộc vào phương pháp làm việc (phương pháp tổ chức thi công), trình độ người lái và đặc điểm địa hình làm việc. Nếu máy ủi làm việc xuống dốc thì lực đẩy tăng, lực cản sự di chuyển khối đất giảm, thể tích đất được di chuyển bởi lưỡi ủi sẽ tăng. Khi làm việc lên dốc thì các hiện tượng vừa nêu sẽ ngược lại. Khi lên dốc 10% thì năng suất sẽ giảm 40÷50% so với khả năng làm việc trên địa hình bằng phẳng.

Năng suất máy ủi khi cắt và di chuyển đất được xác định theo công thức sau [l, 7, 9]:

$$\Pi = \frac{3600V_đk_dk_{tg}}{T_{ck}k_t}, \left(\frac{m^3}{h}\right) \quad (11)$$

Trong đó: $V_đ$ - khối đất trước bàn ủi (m$^3$); $k_{tg}$ - hệ số sử dụng máy ủi theo thời gian (thường $k_{tg} = 0{,}8 \div 0{,}9$); $k_d$ - hệ số xét tới khi máy ủi làm việc xuống dốc hay lên dốc; khi xuống dốc từ 0 ÷15% thì k$_d$ =1÷2,25; khi lên dốc từ 0÷15% thì k$_d$ = 1÷ 0,5; $k_t$ – hệ số tơi xốp của đất, $k_t = 1{,}1 \div 1{,}3$ ; $T_{ck}$ – thời gian một chu kỳ(s).

Thời gian của chu kỳ máy ủi được xác định theo công thức sau [l, 4, 8]:

$$T_{ck} = \frac{l_c}{v_c} + \frac{l_{cd}}{v_{cd}} + \frac{l_0}{v_0} + t_n \quad (12)$$

Trong đó: $v_c$ - tốc độ của máy ủi khi cắt đất, $v_c = 0{,}9 \div 1{,}0\ m/s$; $v_{cd}$ - tốc độ của máy ủi di chuyển khối đất; $v_0$ - tốc độ của máy ủi quay về vị trí ban đầu (chạy không tải), $v_0 = 1{,}1 \div 2{,}2\ m/s$; $l_c$ , $l_{cd}$ , $l_0$ - chiều dài quãng đường cắt đất, quãng đường di chuyển đất và quãng đường quay trở lại của máy ủi (m); $t_n$ - tổng thời gian dành cho việc hạ bàn ủi, chuyển số và quay máy, $t_n = 25 \div 28s$.

$$l_c = \frac{V_đ}{F} = \frac{V}{Lh_{tb}} = \frac{2V_đ}{L(h_{max} + h_{min})} \quad (13)$$

$$l_0 = l_c + l_{cd} \quad (14)$$

Trong đó: $F$ - diện tích lớp đất được bóc tách, (m²); $h_{tb}$- chiều sâu cắt trung bình, (m); $h_{max}$ - chiều sâu cắt lớn nhất, (m); $h_{min}$ - chiều sâu cắt nhỏ nhất, (m); $L$- chiều dài bàn ủi, (m).

$$h_{max} = \frac{T - W_4}{k_c L} \quad (15)$$

Trong đó: $k_c$ - lực cản cắt riêng của đất, (kG/m²) [l].

Dựa trên những điều trên, mức tiêu thụ năng lượng khi đào đất bằng máy ủi t được xác định theo công thức sau:

$$\mathrm{E} = \frac{N}{\Pi} = \frac{\frac{T.v_c}{102.\eta}}{\frac{3600.V_đ.k_d.k_{tg}}{T_{ck}.k_t}} = \frac{T.v_c.T_{ck}.k_t}{102.\eta.3600.V_đ.k_d.k_{tg}}$$

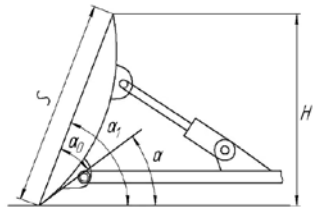
$$E = \frac{\left[Ch^{1.35}(1+2{,}6L)(1+0{,}01\alpha) + \frac{LH^2}{2k_1}.\gamma.tg\varphi + \frac{LH^2}{2k_1}.\gamma.cos^2\alpha.tg\delta + Gf\right].v_c.T_{ck}.k_t}{102.\eta.3600.\frac{LH^2}{2k_1}.k_d.k_{tg}} \quad (16)$$

Sau khi rút gọn phương trình ta có:

$$T_{ck} = \frac{H^2}{\left[\frac{T - W_4}{k_c L} + h_{min}\right]v_c k_1} + \frac{l_{cd}}{v_{cd}} + \frac{\frac{H^2}{\left[\frac{T - W_4}{k_c L} + h_{min}\right]k_1} + l_{cd}}{v_0} + t_n \quad (17)$$

**2.3. Thuật toán tính năng lượng tối thiểu đào đất bằng máy ủi**

Khi thay đổi góc cắt, chiều cao của bàn ủi H, trong công thức tính năng suất và lực cản phát sinh khi máy ủi làm việc, sẽ thay đổi, ta định nghĩa nó là hàm số H = f($\alpha_i$).

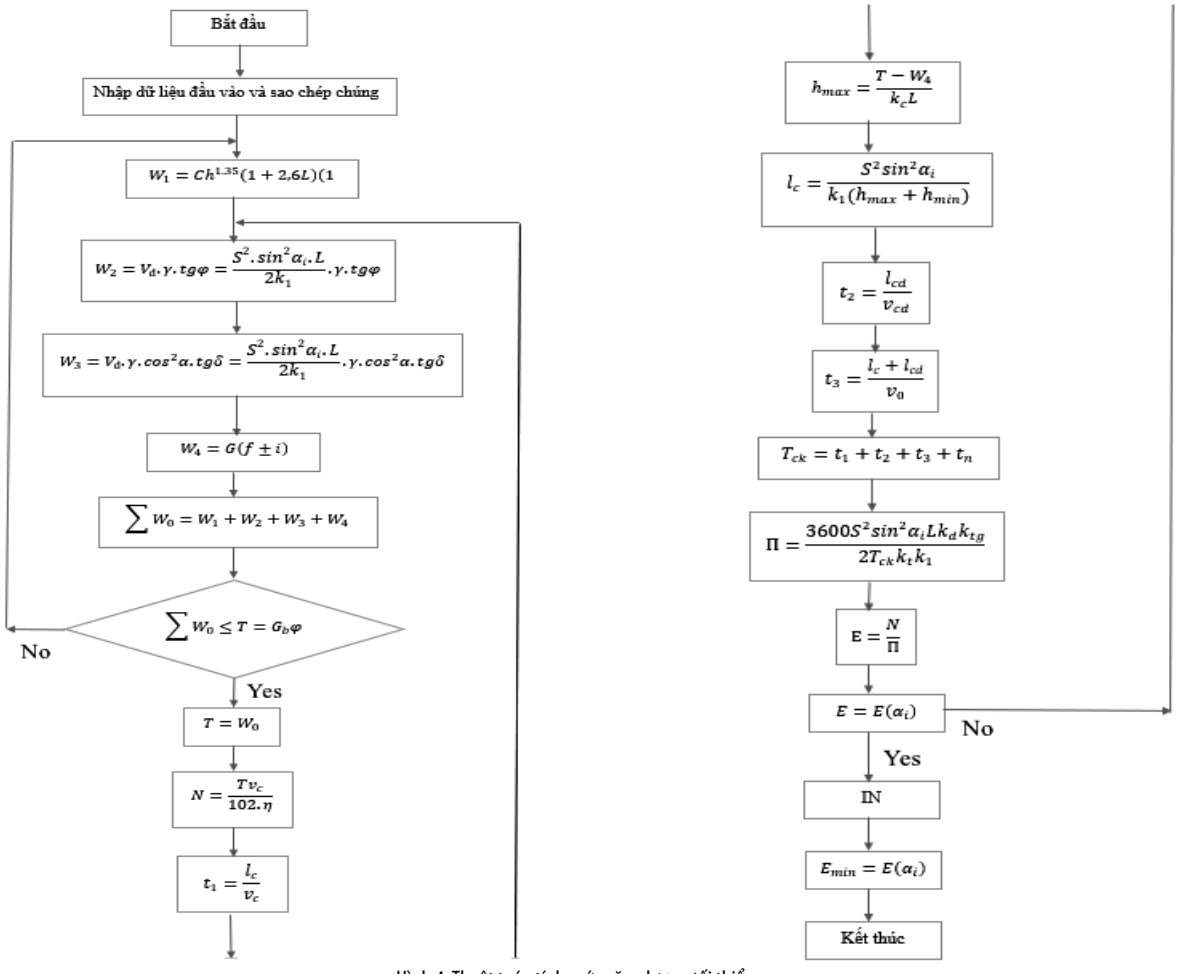



Hình 3. Sơ đồ thiết bị làm việc của máy ủi

$H = S.sin\alpha_i$;
$\alpha = \alpha_i - \alpha_0$;
$\alpha_0 = 30^0 \div 35^0$;
$H = S.\sin(\alpha + \alpha_0) = S.sin\alpha_i$

Trong đó: $S$ - khoảng cách từ cạnh cắt đến đỉnh bàn ủi, m; $\alpha_0$ - góc giữa góc nghiêng $\alpha_i$ và góc cắt $\alpha$ là $30^0 \div 35^0$.

Dựa trên các thông số trên, lập trình thuật toán để tính mức tiêu hao năng lượng đào đất bằng máy ủi được thể hiện trên hình 4.

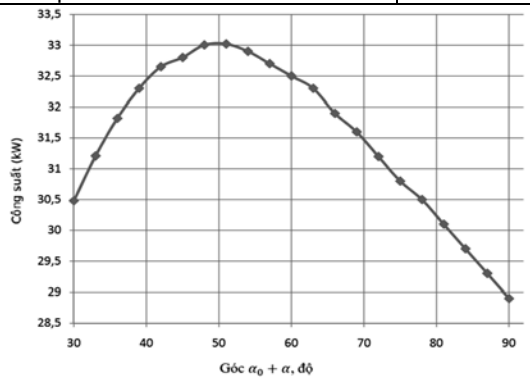



Hình 4. Thuật toán tính mức năng lượng tối thiểu

**2.4. Tính toán**

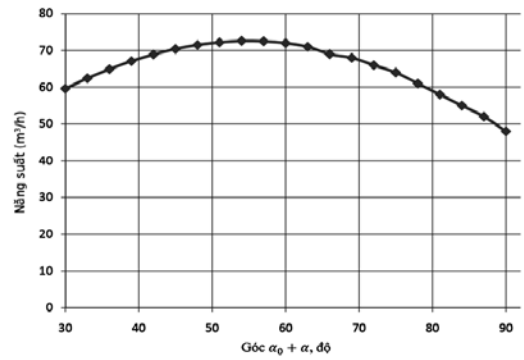
Bảng 1. Số liệu đầu vào

| TT | Tên gọi | Giá trị |
|---|---|---|
| 1 | Độ sâu cắt khi kết thúc quá trình đào | $h_{min}$ = 0,15 m |
| 2 | Chiều cao bàn ủi | H =1,2 m |
| 3 | Trọng lượng máy ủi | G = 16315 kG |
| 4 | Chiều dài bàn ủi | L = 3 m |
| 5 | Khối lượng riêng của đất | $\gamma$ =1600 kg/m$^3$ |
| 6 | Hệ số ma sát đất với đất | $tg\varphi = \mu_1 = 0{,}6$ |
| 7 | Hệ số ma sát đất với thép | $tg\delta = \mu_2 = 0{,}4$ |
| 8 | Hệ số cản di chuyển của máy ủi | $f = 0{,}12$ |
| 9 | Hệ số phụ thuộc tỷ số H/L | $k_1 = 0{,}9$ |
| 10 | Góc cắt | $\alpha = 55^0$ |
| 11 | Tốc độ của máy ủi khi cắt đất $v_c$ | $v_c = 0{,}4\ m/s$ |
| 12 | Hệ số sử dụng thời gian | $k_{tg} = 0{,}8$ |
| 13 | Độ dốc địa hình | $i = tg\beta = 1$ |
| 14 | Lực cản cắt riêng của đất | $k_c = 7000$ kG/m$^2$ |
| 15 | Hệ số tơi xốp của đất | $k_t = 1{,}1$ |
| 16 | Hiệu suất | $\eta = 0{,}9$ |
| 17 | Chiều dài quãng đường di chuyển đất | $l_{cd} = 60$ m |
| 18 | Tốc độ của máy ủi di chuyển khối đất | $v_{cd} = 1\ m/s$ |
| 19 | Tốc độ của máy ủi quay về vị trí ban đầu | $v_0 = 1{,}8\ m/s$ |
| 20 | Tổng thời gian dành cho việc hạ bàn ủi, chuyển số và quay máy | $t_n = 25s$ |
| 21 | Số lần va đập của búa đập Đornhi, với đất cấp III | $C = 9 \div 16$ |

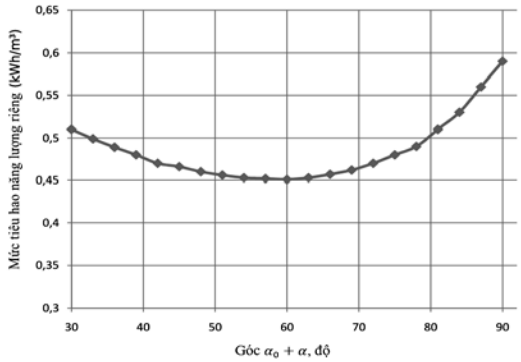



Hình 5. Đồ thị biểu diễn công suất máy ủi phụ thuộc vào góc $\alpha_0+\alpha$

Công suất lớn nhất tại góc 50$^0$ (hình 5); Năng suất lớn nhất tại góc 55$^0$ (hình 6); Mức tiêu hao năng lượng nhỏ nhất tại góc 60$^0$ (hình 7). Từ các đồ thị trên có thể kết luận máy ủi làm việc hợp lý nhất ở góc 50$^0 \div$ 60$^0$, công suất đạt giá trị gần lớn nhất, nhưng năng suất máy đạt giá trị lớn nhất và mức tiêu hao năng lượng tiệm cận giá trị tối thiểu.




Hình 6. Đồ thị biểu diễn năng suất máy ủi phụ thuộc vào góc $\alpha_0+\alpha$




Hình 7. Đồ thị biểu diễn mức tiêu hao năng lượng riêng của máy ủi phụ thuộc vào góc $\alpha_0+\alpha$

**3. KẾT LUẬN**

Bài báo trình bày xác định mức tiêu hao năng lượng đào đất của máy ủi. Giải pháp cho đánh giá hiệu suất của máy có tác động cơ học đến môi trường và quá trình làm việc tuần hoàn theo các chỉ tiêu hiệu quả chính: công suất, năng suất, mức tiêu hao năng lượng riêng. Các kết quả thu được bổ sung cho các phương pháp tính toán hiện có về mặt xác lập ảnh hưởng của các yếu tố quyết định điều kiện vận hành đến các thông số kỹ thuật chính và cơ bản của máy ủi. Phương pháp này hữu ích khi lựa chọn thiết bị và xác định các thông số ban đầu, chính của máy tùy thuộc vào điều kiện vận hành.

Phương pháp dễ tiếp cận nhất và ít tốn kém nhất để tăng cường thiết bị san lấp mặt bằng là thực hiện bằng máy tính các thay đổi về thông số của bộ phận làm việc trong quá trình vận hành máy. Tùy thuộc vào điều kiện vận hành và việc sử dụng máy trong những điều kiện sử dụng cụ thể. Để thực hiện các hoạt động công nghệ, bổ sung cho các phương pháp tính toán hiện có về mặt thiết lập bản chất ảnh hưởng của các yếu tố quyết định điều kiện vận hành đối với các thông số kỹ thuật của máy ủi. Phương pháp này cho phép thiết lập giá trị của các thông số kỹ thuật chính của máy (công suất, năng suất, mức tiêu hao năng lượng tối thiểu v.v.). Tùy thuộc vào điều kiện vận hành và giải quyết bài toán ngược là xác định các điều kiện vận hành trong đó việc sử dụng máy có các thông số đã biết hoặc cho trước mang lại hiệu quả lớn nhất.

Nghiên cứu này sẽ hữu ích cho sinh viên, học viên sau đại học và công nhân kỹ thuật tham gia thiết kế, vận hành khai thác máy ủi.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Trần Đức Hiếu. Máy và thiết bị thi công đất. NXB Xây dựng (2022).

[2]. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации: учебник. М.: Высш. шк., 2001. 576 с.

[3]. Ветров Ю.А., Баладинский В.А. Машины для земляных работ.-К.: Вища школа, 1980. -190 с.

[4]. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия сосредой рабочих органов дорожно-строительных машин.- 2-е изд. -М.: Машиностроение, 1994. -432 с.: ил.

[5]. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.А. Машины для земляных работ. -М.: Машиностроение, 1972. -376 с.

[6]. Машины для земляных работ: Учебник для студентов вузовпо специальности "Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование" / Д.П. Волков и др.; Под общей ред.Д.П, Волкова. -М.: Машиностроение, 1992. -448 с.: ил.

[7]. Довгяло В. А., Бочкарев Д. И. Дорожно-строительные машины. Ч. I: Машины для земляных работ: учеб. пособие. Г.Беларусь: БелГУТ, 2010. 250 с.

[8]. Шестопалов К. К. Строительные и дорожные машины: учеб. пособие. М.: Академия, 2008. 384 с.

[9]. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины: учеб. пособие для вузов. С.: изд-во ДНК, 2008. 704 с.