

# Xác định các thông số tối ưu của máy đào một gầu dựa trên điều kiện hoạt động

Determining the optimal parameters of a single-bucket excavator based on operating conditions

> TS TRẦN ĐỨC HIẾU

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Email: [hieutd@huce.edu.vn](mailto:hieutd@huce.edu.vn)

## TÓM TẮT

Đặc tính kỹ thuật của máy là tài liệu chứa thông tin về kỹ thuật, vận hành, công thái học và các thông số môi trường của máy, cung cấp khả năng quyết định việc sử dụng máy hiệu quả để thực hiện các thao tác công nghệ cần thiết, tùy thuộc vào điều kiện vận hành. Các thông số chính là các thông số cần thiết để lựa chọn một máy trong những điều kiện vận hành nhất định. Các thông số chính bao gồm các thông số xác định khả năng cơ động, khả năng làm việc, kích thước làm việc chính của máy, cũng như độ tin cậy của chúng. Đối với máy đào một gầu, các thông số chính được gọi là các thông số quyết định phần lớn khả năng công nghệ của máy như: khối lượng của máy  $m$ , công suất của máy  $N$ , dung tích gầu  $q$ . Việc lựa chọn các thông số cho máy mới trong quá trình thiết kế là một nhiệm vụ kinh tế kỹ thuật quan trọng. Giải pháp cho vấn đề này đảm bảo việc tạo ra các hệ thống và tổ hợp máy để đảm bảo cơ giới hóa toàn diện hiệu quả trong công việc đào đất. Là một hàm mục tiêu, khi tối ưu hóa các thông số, các chỉ tiêu kỹ thuật và vận hành được sử dụng, bao gồm cả thời gian chu kỳ vận hành và các chỉ tiêu về hiệu quả kinh tế kỹ thuật. Bài báo trình bày kết quả xác định các thông số tối ưu của máy đào một gầu dựa trên điều kiện hoạt động.

**Từ khóa:** Máy đào một gầu; thông số chính; đồng dạng; tối ưu; mô hình toán học.

## ABSTRACT

The technical characteristics of a machine are documents containing information on its technical specifications, operation, ergonomics, and environmental parameters. These details enable effective decision-making regarding the machine's use for performing necessary technological operations, depending on operating conditions. The main parameters include parameters that determine the maneuverability, working capacity, main working dimensions of the machine, as well as their reliability. For a single-bucket excavator, the key parameters primarily define its technological capabilities, such as machine weight  $m$ , machine power  $N$ , and bucket capacity  $q$ . Selecting these parameters for a new machine during the design process is a crucial techno-economic task. Solving this problem ensures the development of machine systems and complexes that enable efficient comprehensive mechanization of earthmoving operations. As an objective function in parameter optimization, both technical and operational indicators are considered, including cycle time and techno-economic efficiency criteria. This paper presents the results of determining the optimal parameters of a single-bucket excavator based on operating conditions.

**Keywords:** Single-bucket excavator; main parameters; similarity; optimization; mathematical model

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phân tích quá trình làm việc của máy đào một gầu và tiêu chuẩn GOST (CHLB Nga) tương ứng cho phép chúng ta kết luận rằng đối với máy đào một gầu, thông số kỹ thuật chính là trọng lượng của máy. Phần còn lại của các thông số kỹ thuật chính được lấy từ thông số chính và có thể được xác định bằng các phương pháp mô hình hóa và lý thuyết đồng dạng cho các đối tượng kỹ thuật tương tự [2]. Các nhà nghiên cứu đã xác định các thông số kỹ thuật chính và thông số vận hành của máy thông qua việc phân tích các mô hình toán học tối ưu hoá thời gian chu kỳ vận hành. Các tham số ảnh hưởng được xem xét như là các biến độc lập trong mô hình. Phương pháp này cho phép tìm ra kết quả tối ưu cho một máy cụ thể dưới

điều kiện vận hành nhất định. Lời giải tổng quát thu được bằng cách xem máy như một đối tượng đồng dạng của một nhóm máy tương tự. Kết hợp phân tích thời gian chu kỳ với lý thuyết đồng dạng giúp giải quyết hai vấn đề: tối ưu hóa thời gian chu kỳ và tổng quát hóa kết quả cho các máy và điều kiện vận hành tương tự.

Lý thuyết đồng dạng là sự kết hợp của lý thuyết mô hình hóa và thực nghiệm, là tài liệu hướng dẫn nghiên cứu thực nghiệm trên một đối tượng cụ thể, khái quát hóa và áp dụng các kết quả thu được cho các đối tượng khác. Newton đã rút ra câu trả lời cho câu hỏi vì sao kết quả thí nghiệm với mô hình của một vật thể lại có thể khác biệt so với mô hình ban đầu và cách để giải quyết vấn đề này trong định lý về sự đồng dạng cơ học của các vật thể. Lý thuyết về

sự đồng dạng và mô hình hóa dựa trên ba định lý đồng dạng và các điều kiện bổ sung. Trong nghiên cứu của viện sĩ V.P. Goryachkina và giáo sư V.A. Venikov [3], áp dụng nguyên lý đồng dạng đã được chứng minh trong việc chế tạo một loạt các loại máy nông nghiệp và trong lĩnh vực năng lượng. Nghiên cứu này đã xác định ý nghĩa của các lực khác nhau và làm rõ sự phụ thuộc của điện trở vào kích thước tuyến tính. Sự phát triển và phân ánh đầy đủ nhất về lý thuyết đồng dạng trong mối quan hệ với cơ học liên tục có thể được tìm thấy trong các công trình về thủy văn và khí động học [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Định lý đồng dạng đầu tiên đã xây dựng các tính chất của các hệ thống đồng dạng, cho rằng các hiện tượng đồng dạng thỏa mãn cùng một tiêu chí, hay nói cách khác, Định lý đầu tiên đã xác định các điều kiện cần thiết cho sự đồng dạng. Việc chứng minh khả năng rút gọn phương trình về dạng tiêu chuẩn là nội dung của định lý đồng dạng thứ hai (định lý  $\pi$ ). Tuy nhiên, việc sử dụng phương pháp phân tích thứ nguyên không đủ để phân ánh đủ điều kiện cho sự tồn tại của sự đồng dạng. Định lý thứ ba của lý thuyết về sự đồng dạng chỉ ra các giới hạn của sự phân bố tự nhiên của một trải nghiệm đơn lẻ. Nghiên cứu đã chứng minh rằng các hiện tượng đồng dạng chỉ xuất hiện khi có những điều kiện duy nhất giống nhau và đáp ứng cùng một tiêu chuẩn xác định. Tiêu chuẩn này bao gồm các biến độc lập tương đương nhau, được xác định trong những điều kiện duy nhất như mối quan hệ hình học, các tham số vật lý và điều kiện biên (điều kiện ban đầu và điều kiện biên). Tiêu chí đồng dạng là các biểu thức không thứ nguyên có thể được coi là một thước đo trung bình nào đó về tỷ lệ cường độ của hai hiệu ứng vật lý có ý nghĩa quan trọng đối với quá trình đang nghiên cứu. Tiêu chí đồng dạng được xác định theo nhiều cách khác nhau: từ các điều kiện đồng nhất của các phương trình mô tả các quá trình, hoặc từ phân tích thứ nguyên, một biến thể của nó là phương pháp không thứ nguyên.

Lý thuyết về sự đồng dạng dựa trên những tiền đề tương tự như tính toán phân tích: đòi hỏi rõ ràng về các điều kiện ban đầu (biên), các tham số và tọa độ của quá trình nghiên cứu. Do đó, lý thuyết về sự đồng dạng đóng vai trò quan trọng như một mắt xích kết nối giữa lý thuyết và thực nghiệm. Xác định các thông số đồng dạng là một kỹ thuật dựa trên hệ quả đầu tiên, nó thiết lập mối liên kết giữa các tham số của các đối tượng đồng dạng. Trong trường hợp này, các phương trình mô tả các quá trình trong các đối tượng tương tự nhau và các tiêu chí đồng dạng cũng tương tự. Vì vậy, nếu các đối tượng và hiện tượng là đồng dạng, tức là các phương trình đặc trưng mô tả chúng giống nhau và các tiêu chí đồng dạng cũng tương đương, thì các thông số của đối tượng thiết kế có thể được xác định thông qua các thông số chính của nó (những thông số luôn được xác định hoặc thiết lập dựa trên việc giảm thiểu thời gian làm việc) và các thông số của một đối tượng tham chiếu được lựa chọn làm tiêu chuẩn (mô hình). Căn cứ để xác định các thông số kỹ thuật của máy thường dựa trên các mô hình hồi quy. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, chúng ta không thể thu được các thông số này do phải đối mặt với các hạn chế do điều kiện vận hành. Nguyên nhân chính thường là thiếu thông tin đầy đủ về các đặc tính định lượng và chất lượng của đối tượng kỹ thuật được phân tích thống kê. Thậm chí, có thể không có thông tin về số lượng sê-ri của máy, trong một số trường hợp, mục đích sử dụng của máy cũng không được nêu rõ.

Việc xác định các thông số kỹ thuật hợp lý thường dựa trên việc tối ưu hóa mô hình toán học về thời gian vận hành và sử dụng các mẫu đồng dạng. Quá trình này cho phép chúng ta tính đến các đặc điểm cụ thể của hệ thống đang được xem xét và thiết lập các thông số kỹ thuật của máy một cách có logic hơn. Các máy có cấu trúc tương đồng trong các điều kiện vận hành tương tự thường có các

tiêu chí đồng dạng và các tham số tỷ lệ với các điều kiện cụ thể. Để xây dựng các mối liên hệ cần thiết, cần phải xác định rõ các tiêu chí đồng dạng của hệ thống và các điều kiện cụ thể.

Các máy đào một gầu đồng dạng thường có kích thước tuyến tính khác nhau, bao gồm kích thước của các bộ phận làm việc và các thành phần khác của máy. Điều này dẫn đến việc tạo ra một môi trường với các đặc tính vật lý và cơ học đa dạng. Khi thay đổi kích thước tuyến tính, các tải trọng tác động lên máy thường có các đặc tính vật lý khác nhau và chịu ảnh hưởng của các quy luật riêng biệt. Mối quan hệ đồng dạng giữa các thông số kỹ thuật chính của máy đào một gầu được minh họa trong bảng 1 và bảng 2. Mối liên hệ này dựa trên việc phân tích các định luật cơ học và lý thuyết về sự đồng dạng của các hệ thống kỹ thuật. Không cần sử dụng các phương pháp phân tích hồi quy vì hai lý do chính: Thứ nhất, mối liên hệ giữa các tham số được xác định dựa trên các định luật cơ học, giúp thiết lập mối quan hệ nhân quả giữa chúng; Thứ hai, phương pháp hồi quy chỉ phản ánh hậu quả của quá trình mà không tiết lộ nguyên nhân và bản chất của hiện tượng. Phương pháp này thường được áp dụng trong việc phân tích các quy trình mà các mẫu phân tích chưa được thiết lập, ví dụ như khi thiết lập kết nối giữa các thông số và giá thành của máy móc trên thị trường. Tuy nhiên, trong trường hợp này, phương pháp hồi quy chỉ ghi lại hậu quả mà không tiết lộ lý do của quá trình thị trường và mô hình thị trường.

Các quy định đã xem xét cho thấy rằng trong trường hợp của máy đào một gầu, các thông số kỹ thuật chính như  $m, N, q, T, L, \dots$  có mối quan hệ đặc trưng được biểu diễn bằng các hệ số tỷ lệ tương ứng. Tiêu chí đồng dạng cho các hệ thống như vậy, bao gồm các giá trị định rõ cho các thông số kỹ thuật chính, sẽ có giá trị tương đương nhau, biểu thị bằng  $\Pi_i = idem$ .

Người sử dụng cần được tư vấn để lựa chọn thiết bị phù hợp với điều kiện vận hành cụ thể của mình. Sử dụng máy trong điều kiện tạo ra hiệu quả cao nhất sẽ đảm bảo khách hàng thu được nhiều lợi nhuận hơn. Các vấn đề loại này được giải quyết bằng phương pháp tối ưu hóa các tham số tùy thuộc vào các yếu tố ảnh hưởng.

Việc xác định các thông số kỹ thuật và vận hành tối ưu của máy đào một gầu dựa trên việc giảm thiểu thời gian chu kỳ làm việc của máy, được thảo luận trong hướng dẫn, sẽ hữu ích trong việc giải quyết các vấn đề như vậy. Phương pháp phát triển cho phép giải quyết hai vấn đề: lựa chọn một máy cung cấp tối ưu, kết quả tùy thuộc vào điều kiện vận hành bằng cách giảm thiểu thời gian chu kỳ làm việc của máy và khái quát hóa kết quả thu được cho các đối tượng thiết bị và điều kiện vận hành tương tự.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Người sử dụng cần được tư vấn để lựa chọn thiết bị phù hợp với điều kiện vận hành cụ thể của mình. Sử dụng máy trong điều kiện tạo ra hiệu quả cao nhất sẽ đảm bảo khách hàng thu được nhiều lợi nhuận hơn. Các vấn đề này được giải quyết bằng phương pháp tối ưu hóa các tham số tùy thuộc vào các yếu tố ảnh hưởng. Việc xác định các thông số kỹ thuật và vận hành tối ưu của máy đào một gầu dựa trên việc giảm thiểu thời gian chu kỳ làm việc của máy, được thảo luận trong hướng dẫn, sẽ hữu ích trong việc giải quyết các vấn đề như vậy. Phương pháp phát triển cho phép giải quyết hai vấn đề: lựa chọn một máy cung cấp tối ưu, kết quả tùy thuộc vào điều kiện vận hành bằng cách giảm thiểu thời gian chu kỳ làm việc của máy và khái quát hóa kết quả thu được cho các đối tượng thiết bị và điều kiện vận hành tương tự.

Trước khi bắt đầu thiết kế một máy, bạn cần phải để xây dựng một nhiệm vụ kỹ thuật và thiết lập hợp lý các thông số kỹ thuật ban đầu chính và cơ bản (trọng lượng máy, công suất, kích thước của bộ phận làm việc), trong thực tế ở điều kiện bình thường được chỉ định

bằng phương pháp dựa trên việc giảm thiểu thời gian thực hiện các thao tác công nghệ, bổ sung cho các phương pháp tính toán hiện có về mặt xác định bản chất ảnh hưởng của các yếu tố quyết định điều kiện vận hành lên các thông số kỹ thuật của máy. Phương pháp này cho phép thiết lập giá trị tối ưu của các thông số kỹ thuật chính của máy (trọng lượng máy, độ bão hòa năng lượng N/m, công suất N,...) tùy thuộc vào điều kiện hoạt động.

Ở giai đoạn thiết kế, nên sử dụng phương pháp trên để xây dựng các thông số kỹ thuật cho thiết kế. Phương pháp này cho phép hình thành các thông số kỹ thuật ban đầu có cơ sở hơn, có tính đến các điều kiện vận hành đã chỉ định hoặc dự kiến. Các thông số kỹ thuật đã thiết lập m, N/m, N, Π, T<sub>ckmin</sub>,... là cơ sở ban đầu cho các tính toán truyền thống (công suất, năng lượng, lực kéo, công thái học, môi trường, kỹ thuật và kinh tế và các tính toán khác). Nếu cần thiết, các thông số sẽ được chỉ định.

Ở giai đoạn vận hành, phương pháp luận cho phép thiết lập giá trị hợp lý của các thông số kỹ thuật chính của máy T, N/m, P và các thông số khác, theo đó việc lựa chọn thiết bị được thực hiện tùy thuộc vào các điều kiện vận hành.

Hiệu suất của máy đào một gầu có tác động cơ học đến môi trường và quá trình làm việc tuần hoàn theo các chỉ tiêu hiệu suất chính (thời gian chu kỳ T<sub>u</sub>, năng suất P, chỉ tiêu tổng quát về cường độ năng lượng và cường độ vật liệu, chi phí giờ máy và đơn vị sản

phẩm chế tạo và các chỉ tiêu khác) có giá trị tối ưu ở một giá trị nhất định về độ bão hòa khối lượng và năng lượng của đơn vị.

Các thông số kỹ thuật của máy đào một gầu được xác định trên dựa trên quan điểm tổng quát rằng độ lớn của các thông số công suất và năng lượng của máy có tác động cơ học truyền thống đến môi trường phụ thuộc vào các hoạt động công nghệ được thực hiện, khả năng xảy ra của chúng và kỹ thuật và vận hành hiện tại các yếu tố.

**2.1. Xác định các thông số máy tối ưu phụ thuộc vào điều kiện hoạt động**

Mô hình toán học về hiệu suất làm việc của các máy đào một gầu phụ thuộc vào các yếu tố ảnh hưởng, dựa trên việc tối ưu hóa các mô hình toán học về thời gian chu kỳ vận hành. Các tham số của hàm được xem xét là các biến độc lập. Quy trình tối ưu hóa tạo ra một sự thay đổi nhất quán ở một trong các yếu tố với các yếu tố khác giữ nguyên giá trị cố định. Sau đó, quá trình được lặp lại. Phụ thuộc như vậy giúp giải quyết các vấn đề liên quan đến việc xác định mức độ ảnh hưởng của từng tham số đối với giá trị xác định. Điều này rất quan trọng trong quá trình nghiên cứu và thiết kế máy mới. Việc thu được các mối quan hệ tổng quát hơn dựa trên phân tích máy dưới dạng một vật thể đồng dạng tạo thành một nhóm các máy móc tương tự. Trong trường hợp này, mối quan hệ giữa các tham số được xác định thông qua phương pháp đồng dạng dựa trên các mối quan hệ được hệ thống hóa trong bảng 1 [2].

**Bảng 1.** Công thức xác định thông số kỹ thuật cơ bản của máy đào một gầu

Thông số tính toán	Xác định các thông số				
	N	T	m	q	l
Công suất động cơ N(W)	-	k <sub>1</sub> .T	k <sub>2</sub> .m	k <sub>3</sub> .q	k <sub>4</sub> .l <sup>3</sup>
Lực kéo T (N)	k <sub>5</sub> .N	-	k <sub>6</sub> .m	k <sub>7</sub> .q	k <sub>8</sub> .l <sup>3</sup>
Khối lượng m (kg)	k <sub>9</sub> .N	k <sub>10</sub> .T	-	k <sub>11</sub> .q	k <sub>12</sub> .l <sup>3</sup>
Dung tích gầu cơ bản q (m <sup>3</sup> )	k <sub>13</sub> .N	k <sub>14</sub> .T	k <sub>15</sub> .m	-	k <sub>16</sub> .l <sup>3</sup>
Kích thước chiều dài l <sub>i</sub> (m)	k <sub>17</sub> .N <sup>1/3</sup>	k <sub>18</sub> .T <sup>1/3</sup>	k <sub>19</sub> .m <sup>1/3</sup>	k <sub>20</sub> .q <sup>1/3</sup>	-
Dung tích gầu lắp thêm thiết bị phụ bổ sung q <sub>b</sub>	k <sub>21</sub> .N	k <sub>22</sub> .T	k <sub>23</sub> .m	k <sub>24</sub> .q	k <sub>25</sub> .l <sup>3</sup>
Trọng tải m <sub>q</sub>	k <sub>26</sub> .N	k <sub>27</sub> .T	k <sub>28</sub> .m	k <sub>29</sub> .q	k <sub>30</sub> .l <sup>3</sup>
Tốc độ làm việc V = 1,0 ÷ 1,5 m/s	V = const				

Mối liên hệ phân tích giữa các thông số ảnh hưởng như N, q, Π, ... được thiết lập dựa trên nguyên lý cân bằng về các tiêu chí đồng dạng của máy, biểu diễn thông qua các mối quan hệ được trình bày trong bảng 1.

$$N = k_2 \cdot m; N = k_3 \cdot q; m = k_{11} \cdot q; q = k_{13} \cdot N; q = k_{15} \cdot m \quad (1)$$

Các mô hình toán học tổng quát về thời gian chu kỳ làm việc của các máy đào một gầu. Các mô hình này thu được bằng cách thay hệ thức q = k<sub>13</sub>.N cho trong bảng 1 vào mô hình toán học của thời gian chu kỳ làm việc của máy. Dựa vào quan hệ đồng dạng q = k<sub>13</sub>.N cho trong bảng 1, mô hình toán học tổng quát về thời gian chu kỳ làm việc của các nhóm máy làm đất khác k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>, k<sub>11</sub>,... được cho trong bảng 2 [2].

**Bảng 2.** Hệ số tỷ lệ cho tương tự máy đào một gầu

Hệ số	Thông số tính toán	Hệ số	Thông số tính toán	Hệ số	Thông số tính toán
k <sub>1</sub>	$\frac{N_0}{T_0}$	k <sub>11</sub>	$\frac{m_0}{q_0}$	k <sub>21</sub>	$\frac{q_{b0}}{N_0}$
k <sub>2</sub>	$\frac{N_0}{m_0}$	k <sub>12</sub>	$\frac{m_0}{l_0^3}$	k <sub>22</sub>	$\frac{q_{b0}}{T_0}$
k <sub>3</sub>	$\frac{N_0}{q_0}$	k <sub>13</sub>	$\frac{q_0}{N_0}$	k <sub>23</sub>	$\frac{q_{b0}}{m_0}$
k <sub>4</sub>	$\frac{N_0}{l_0^3}$	k <sub>14</sub>	$\frac{q_0}{T_0}$	k <sub>24</sub>	$\frac{q_{b0}}{q_0}$
k <sub>5</sub>	$\frac{T_0}{N_0}$	k <sub>15</sub>	$\frac{q_0}{m_0}$	k <sub>25</sub>	$\frac{q_{b0}}{l_0^3}$

$k_6$	$\frac{T_0}{m_0}$	$k_{16}$	$\frac{q_0}{l_0^3}$	$k_{26}$	$\frac{m_{Q0}}{N_0}$
$k_7$	$\frac{T_0}{q_0}$	$k_{17}$	$\frac{l_0}{N_0^{1/3}}$	$k_{27}$	$\frac{m_{Q0}}{T_0}$
$k_8$	$\frac{T_0}{l_0^3}$	$k_{18}$	$\frac{l_0}{T_0^{1/3}}$	$k_{28}$	$\frac{m_{Q0}}{m_0}$
$k_9$	$\frac{m_0}{N_0}$	$k_{19}$	$\frac{l_0}{m_0^{1/3}}$	$k_{29}$	$\frac{m_{Q0}}{q_0}$
$k_{10}$	$\frac{m_0}{T_0}$	$k_{20}$	$\frac{l_0}{q_0^{1/3}}$	$k_{30}$	$\frac{m_{Q0}}{l_0^3}$

Đối với máy đào 1 gầu nhóm 1÷3:

$$T_{ck} = \frac{k_1 \cdot k_{13} \cdot N \cdot k_{31}}{m \cdot g \cdot v_k} + \frac{m \cdot g \cdot l_n \cdot k_n}{N}, (s) \quad (2)$$

Mô hình toán học về thời gian chu trình làm việc  $T_{ck}$ , trình bày ở trên là cơ sở để xác định các thông số kỹ thuật và vận hành của một loại thiết bị cụ thể tùy theo điều kiện vận hành.

Dựa trên phân tích biểu thức  $\frac{dT_{ck}}{dm} = 0$  cho từng loại kỹ thuật, chúng ta có thể xác định khối lượng tối ưu của máy tương ứng và các thông số kỹ thuật khác, bao gồm cách vận hành, bằng cách xem xét sự ảnh hưởng tương tác giữa các thông số này. Đặc biệt, chúng ta quan tâm đến mối quan hệ giữa công suất  $N$  và dung tích gầu  $q$ . Phân tích các mối liên hệ cụ thể làm nổi bật bản chất của cấu trúc công thức tính toán, giúp xác định các thông số kỹ thuật của máy đào một gầu trong nhóm các máy đồng dạng có cùng mục đích sử dụng. Sự khác biệt về kết quả định lượng phản ánh rõ đặc trưng riêng của quá trình làm việc của từng máy, mà điều này thường được thể hiện qua giá trị của các hệ số ràng buộc liên quan đến thiết kế và điều kiện vận hành cụ thể của máy.

Xác định các thông số kỹ thuật và vận hành cơ bản của nhóm máy đào một gầu, bao gồm máy đào nhóm 1, nhóm 2 và máy xúc lật, dựa trên các mối quan hệ có cấu trúc chung và độ ảnh hưởng khác nhau của các yếu tố và hệ số đồng dạng. Các mối quan hệ ban đầu là các mô hình toán học xác định thời gian chu kỳ vận hành của máy và được đưa ra ở trên, có tính đến các điều kiện vận hành cơ bản của máy (cường độ đất  $k_1$ , phạm vi chuyển động của máy  $l$ , tốc độ vận hành  $v_p$  và một số thông số lực kéo). Thông qua các hệ số ảnh hưởng không thứ nguyên. Các mối quan hệ ban đầu cũng thu được có tính đến các kết nối giữa ảnh hưởng đến các thông số kỹ thuật. Các nghiên cứu được thực hiện nhằm để xuất và xác định các thông số vận hành và kỹ thuật cần thiết, đặc biệt là trong các điều kiện vận hành cụ thể. Những nghiên cứu này tập trung vào việc xác định các thông số kỹ thuật có ảnh hưởng đáng kể đối với một trường hợp thiết kế cụ thể.

Mô hình toán học tổng quát về thời gian chu kỳ làm việc với có xét đến sự thay đổi dung tích gầu phụ thuộc vào công suất động cơ được xác định bởi biểu thức (2).

Dựa vào biểu thức  $\frac{dT_{ck}}{dm} = 0$  xác định khối lượng tối ưu cho các máy đồng dạng và điều kiện vận hành tương tự. Dựa vào giá trị khối lượng tối ưu  $m_{tu}$  làm thông số kỹ thuật chính và các quan hệ tương tự như được mô tả trong bảng 1, chúng ta có thể suy luận công thức tính các thông số kỹ thuật của các loại máy làm đất đồng dạng. Quá trình này cho phép chúng ta tổng quát hóa giải pháp tối ưu cho các máy có cùng tính chất và điều kiện vận hành tương tự. Dựa vào giá trị  $m_{tu}$  đã biết, chúng ta có thể xác định các thông số khác của máy như:

$$\text{Dung tích gầu: } q = k_{15} \cdot m_{tu}, (m^3) \quad (3)$$

$$\text{Công suất động cơ: } N = k_2 \cdot m_{tu}, (W) \quad (4)$$

Khối lượng  $m_{tu}$  và công suất  $N$  được xác định theo giá trị năng suất:

$$m = \frac{1}{k_{15}} \Pi \cdot T_{ck \min}, (kg) \quad (5)$$

$$N = \frac{1}{k_{13}} \Pi \cdot T_{ck \min}, (W) \quad (6)$$

Việc xác định các giá trị  $\Pi_{max}$  và  $T_{ck \min}$ . Giá trị của các hệ số đồng dạng thứ nguyên  $k_2, k_{13}, k_{15}$ , v.v. được xác định bởi các quan hệ cho trong bảng 2. Sau khi thay thế các giá trị  $m_{tu}, \Pi$  và  $T_{ck \min}$  và các phép biến đổi, thu được công thức chi tiết để tính các tham số tương ứng.

Mối liên hệ tổng quát để xác định giá trị khối lượng tối ưu  $m_{tu}$  cho các máy đào một gầu, máy xúc lật, v.v.  $m_{tu}$  có thể được xác định theo dung tích gầu  $q$ , công suất động cơ quy định  $N$  hoặc năng suất yêu cầu  $\Pi$ :

Xác định theo dung tích gầu  $q$  ( $m^3$ ):

$$m = k_{m_{tu}} \cdot q \cdot \left( \frac{k_1 \cdot k_3}{g^2 \cdot v \cdot l} \right)^{1/2}, (kg) \quad (7)$$

Xác định theo công suất động cơ  $N$  ( $W$ ):

$$m = k_{m_{tu}} \cdot N \cdot \left( \frac{k_1 \cdot k_{13}}{g^2 \cdot v \cdot l} \right)^{1/2}, (kg) \quad (8)$$

Xác định theo năng suất  $\Pi$  ( $m/s$ ):  $m =$

$$k_{t_{min}} \cdot \Pi \cdot \left( \frac{k_1 \cdot l}{v \cdot k_2 \cdot k_{15}} \right)^{1/2}, (kg) \quad (9)$$

Xác định theo tối ưu năng lượng:  $\frac{N}{m} = k_e \left( \frac{g^2 \cdot v \cdot l}{k_1 \cdot k_{13}} \right)^{1/2}, \left( \frac{W}{kg} \right)$  (10)

Thời gian chu kỳ nhỏ nhất:  $T_{ck \min} = k_{t_{min}} \left( \frac{k_1 \cdot l}{v \cdot k_3} \right)^{1/2}, (s)$  (11)

Năng suất lớn nhất  $\Pi_{max}$  có thể xác định theo khối lượng máy tối ưu  $m_{tu}$ , dung tích gầu  $q$  hoặc công suất động cơ  $N$ :

Theo khối lượng  $m$  ( $kg$ ):  $\Pi = k_{\Pi} \cdot m \cdot \left( \frac{v \cdot k_3 \cdot k_{15}}{k_1 \cdot l} \right)^{1/2}, \left( \frac{m^3}{s} \right)$  (12)

Theo dung tích gầu  $q$  ( $m^3$ ):  $\Pi = k_{\Pi} \cdot q \cdot \left( \frac{v \cdot k_3}{k_1 \cdot l} \right)^{1/2}, \left( \frac{m^3}{s} \right)$  (13)

Theo công suất  $N$  ( $W$ ):  $\Pi = k_{\Pi} \cdot N \cdot \left( \frac{v \cdot k_3}{k_1 \cdot l} \right)^{1/2}, \left( \frac{m^3}{s} \right)$  (14)

Năng suất tính theo công thức trên là năng suất lớn nhất. Năng suất này được máy đảm bảo trong các điều kiện vận hành với thời gian chu kỳ vận hành nhỏ nhất  $T_{ck \min}$ .

Dung tích gầu  $q$  và công suất động cơ  $N$  có thể được xác định theo năng suất  $\Pi$  đã cho:

Theo dung tích gầu  $q$  ( $m^3$ ):  $q = \frac{1}{k_{\Pi}} \Pi \left( \frac{k_1 \cdot l}{v \cdot k_3} \right)^{1/2}, (m^3)$  (15)

Theo công suất  $N$  ( $W$ ):  $N = \frac{m_{tu}}{k_{m_{tu}}} \left( \frac{g^2 \cdot v \cdot l \cdot \Pi}{k_1 \cdot k_{13}} \right)^{1/2}, (W)$  (16)

## 2.2. Tính toán

Tính toán các chỉ tiêu kỹ thuật và vận hành chính thông số máy đào một gầu nhóm 1 ÷ 2.

Cần xác định các thông số của máy đào dựa vào dung tích gầu cho trước  $q = 0,32 m^3$ . Máy đào được thiết kế để thi công đất cấp III.

1) Tính toán tối ưu khối lượng  $m_{tu}$  theo công thức (7) ta có:

$$m_{tu} = k_{m_{tu}} \cdot q \cdot \left( \frac{k_1 k_3}{g^2 v_k l_x} \right)^{1/2}, (kg)$$

Trong đó:  $k_{m_{tu}}$  - hệ số không thứ nguyên tùy thuộc vào điều kiện vận hành. Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_{m_{tu}} = 4,2$  [2];

$k_1$  - lực cản đào riêng của máy đào,  $k_1 = 200.000 N/m^2$  (bảng 1.5 [1]);

$k_3$  - hệ số đồng dạng. Đối với máy đào gầu nghịch nhóm cỡ 1 ÷ 3,  $k_3 = 1,6 \cdot 10^5 W/m^3$  (xem bảng 1.2) [2];

$v_k$  - tốc độ đào, thông thường  $v_k = 1 \div 2 m/s$ ;

$l_x$  - khoảng cách di chuyển của máy đào dọc theo công trường,  $l_x = 4 \div 5m$  [2].

Thay các giá trị đã thiết lập vào công thức tính, ta nhận được:

$$m_{tu} = 4,2 \cdot 0,32 \cdot \left( \frac{200.000 \cdot 1,6 \cdot 10^5}{9,81^2 \cdot 1,4} \right)^{1/2} = 11700 (kg)$$

2) Tính toán tối ưu năng lượng của máy đào  $(N/m)_{tu}$ . Tính toán theo công thức (10) ta có:

$$\left( \frac{N}{m} \right)_{tu} = k_e \left( \frac{g^2 v_k l_x}{k_1 k_{13}} \right)^{1/2}, \left( \frac{W}{kg} \right)$$

Trong đó:  $k_e$  - hệ số không thứ nguyên tùy thuộc vào điều kiện vận hành. Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_e = 2,6$  [2];

$k_{13}$  - hệ số đồng dạng. Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_{13} = 0,05 \cdot 10^{-4} m^3/W$  [2].

Các giá trị đã thiết lập được thay thế vào công thức tính ta có:

$$\left( \frac{N}{m} \right)_{tu} = 2,6 \left( \frac{9,81^2 \cdot 1,4}{200000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/2} = 5,1 \left( \frac{W}{kg} \right)$$

3) Tính toán công suất động cơ của máy đào một gầu. Công suất động cơ được xác định dựa trên khối lượng tối ưu đã được thiết lập  $m_{tu}$  và công thức (16) ta có:

$$N = \frac{1}{k_{m_{tu}}} m_{tu} \left( \frac{g^2 v_k l_x}{k_1 k_{13}} \right)^{1/2}, (W)$$

Trong đó:  $k_{13}$  - hệ số đồng dạng,  $(m^3/W)$ . Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_{13} = (0,05 \div 0,07) \cdot 10^{-4} m^3/W$  [2];

Thay các giá trị vào công thức ta có:

$$N = \frac{1}{4,2} 11700 \left( \frac{9,81^2 \cdot 1,4}{200000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/2} = 54578 (W) \\ = 54,6 (kW)$$

4) Tính toán năng suất lớn nhất của máy đào theo điều kiện khai thác, tính toán theo công thức (12) ta có:

$$\Pi_{max} = k_{\Pi} m_{tu} \left( \frac{v_k k_2 k_{15}}{k_1 l_x} \right)^{1/2}, \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (4)$$

Trong đó:  $k_{\Pi}$  - hệ số không thứ nguyên tùy thuộc vào điều kiện vận hành. Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_{\Pi} = 0,33$  [2];

$k_2$  - hệ số đồng dạng,  $(W/kg)$ . Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,  $k_2 = 5W/kg$  [2];

$k_{15}$  - hệ số đồng dạng,  $(m^3/kg)$ . Đối với máy đào gầu nghịch nhóm 1 ÷ 3,

$k_{15} = 0,5 \cdot 10^{-4} m^3/kg$  [2];

Thay các giá trị trên vào công thức ta có:

$$\Pi_{max} = 0,33 \cdot 11700 \cdot \left( \frac{1,5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{200000 \cdot 4} \right)^{1/2} = 0,077 \left( \frac{m^3}{s} \right) \\ = 277,2 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

Năng suất phụ thuộc vào điều kiện khai thác vận hành, lực cản đào và chuyển động không tải của máy đào xung quanh khu vực thi công. Các giá trị này càng lớn thì năng suất càng thấp.

### 3. KẾT LUẬN

Việc xác định các thông số tối ưu cho máy đào một gầu trong quá trình khai thác là một nhiệm vụ kinh tế kỹ thuật quan trọng. Là một hàm mục tiêu, khi tối ưu hóa các thông số, các chỉ tiêu kỹ thuật và vận hành được sử dụng, bao gồm cả thời gian chu kỳ vận hành và các chỉ tiêu về hiệu quả kinh tế kỹ thuật.

Trên cơ sở kết quả phân tích và tính toán ở trên cho phép kết luận như sau:

+ Cung cấp phương pháp xác định các thông số tối ưu của máy đào một gầu, tùy thuộc vào các yếu tố kỹ thuật và vận hành tạo nên điều kiện vận hành của máy.

+ Hình thành mô hình toán học về thời gian chu kỳ của máy đào một gầu. Phương pháp dễ tiếp cận nhất và ít tốn kém nhất để tăng cường thiết bị của máy đào một gầu để 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 đó có tác dụng lớn nhất.

Bài báo trình bày kết quả xác định các thông số tối ưu của máy đào một gầu. Giải pháp cho vấn đề này đảm bảo việc tạo ra các hệ thống và tổ hợp máy móc để đảm bảo cơ giới hóa toàn diện hiệu quả trong công việc đào đất, ngoài ra sẽ giúp ích cho hoạt động của sinh viên, học viên và công nhân kỹ thuật trong việc chế tạo và cải tiến các thiết bị thi công đất tiên tiến.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Đức Hiếu. *Máy và thiết bị thi công đất*. NXB Xây dựng (2022).
2. Домбровский Н.Г. *Экскаваторы*. М. Машиностроение, 1969 г.
3. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования/ В.А. Веников. -М.: Высшая школа, 1984. -439 с.
4. Арсеньев, Ю.Д. Теория подобия в инженерных экономических расчетах/ Ю.Д. Арсеньев - М.: Изд-во «Высшая школа», 1967. -257с.
5. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. 2-е изд./ В.И. Баловнев - М.: Машиностроение, 1994. -432 с.
6. Баловнев, В.И. Оценка инновационных предложений в дорожной и строительной технике: учеб. пособие/ В.И. Баловнев -М.: МАДИ (ГТУ), 2008. -100 с.
7. Баловнев, В.И. Оценка эффективности дорожных и коммунальных машин по технико-эксплуатационным показателям: учеб. пособие / В.И. Баловнев - М.: МАДИ, 2002. -28 с.
8. Моделирование проявления горного давления/ Г.Н. Кузнецов [и др.] -Л.: Недра, 1968. -279 с.
9. Schuring, D.S. Scale models in engineering. New-Jork, Pergamon press, 1977. -289 p.
10. Caterpillar Справочник. Технично-эксплуатационные характеристики машин фирмы Caterpillar: Справочник. - США, Пеория: Изд. Caterpillar Inc, 1997. -987 с.