

NGHIÊN CỨU VÙNG LÀM VIỆC CỦA ĐẦU CẮT MỞ LUỒNG LẮP TRÊN MÁY ĐÀO CẦN HAI ĐOẠN

WORKING AREA OF DREDGING DRUM CUTTER ATTACHED ON EXCAVATOR WITH TWO-PIECE BOOM

TRINH VĂN HẢI^{1*}, TRẦN HỮU LÝ²

¹Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Kỹ thuật cơ giới Quân sự, Tổng cục Kỹ thuật

*Email liên hệ: hai.tv@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Tích hợp thiết bị công tác dạng đầu cắt thay thế gầu xúc trên máy đào thủy lực gầu nghịch đã và đang được sử dụng rộng rãi trong thi công trong đó có công tác mở luồng. Việc nghiên cứu khả năng làm việc của các dạng thiết bị này trên máy đào là một nội dung quan trọng trong lớp các bài toán liên quan đến việc lắp các thiết bị thay thế lên máy đào để hoàn thiện tổ hợp máy theo các tiêu chí thiết kế, cũng như đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật và không gian làm việc khi thi công. Bài báo nghiên cứu vùng làm việc của bộ đầu cắt mở luồng khi tích hợp lên máy đào thủy lực với kết cấu cần hai đoạn.

Từ khóa: Đầu cắt, vùng làm việc, cần hai đoạn, máy đào thủy lực, thiết bị mở luồng.

Abstract

Attaching drum cutter working equipment to replace bucket on backhoe hydraulic excavator has been widely used in construction including dredging task. The study of the working range of these types of devices on the excavator is an important content in the class of problems related to the installation of replacement equipment on the excavator to complete the machine according to either the designing criteria or the technical requirements and workspace during construction. The paper studies on changing the working area of the dredging drum cutter attached on an excavator with two-piece boom.

Keywords: Drum cutter, working area, two-piece boom, backhoe hydraulic excavator, dredger.

1. Đặt vấn đề

Thiết bị công tác của máy đào dạng cần-tay gầu xúc (hoặc bộ công tác đa năng khác) đã ra đời và tồn tại cùng với sự phát triển của các thế hệ máy đào từ dẫn động cơ khí đơn giản đến điều khiển điện điện

từ hiện đại, điều này cho thấy tính ưu việt của dạng kết cấu tay máy này. Cùng với hệ thống di chuyển xích hoặc lốp có tính năng thông qua phù hợp với điều kiện thi công và kết cấu ưu việt của bộ công tác nguyên bản của máy đào cho phép việc triển khai và vận hành các bộ công tác đi kèm một cách linh hoạt để tiếp cận các dạng đối tượng thi công. Thêm vào đó việc chi dùng một máy đào cơ sở và thay thế sử dụng nhiều bộ công tác cùng một lúc cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật cũng như đa dạng các phương án tổ chức thi công.

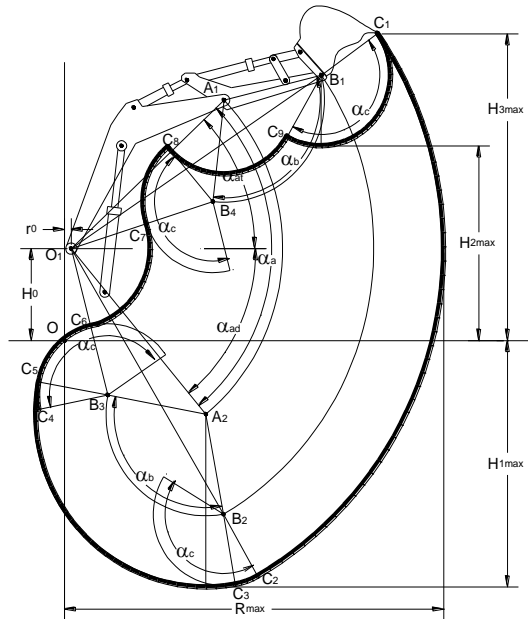
Phạm vi làm việc hay với tới của máy đào là thông số xác định với một máy cụ thể. Tuy nhiên, khi lắp các thiết bị thay thế lên máy đào thì phạm vi công tác của tổ hợp thiết bị sẽ được mở rộng trên cơ sở phạm vi nguyên bản cộng với kích thước nối dài các khâu lắp thêm [1, 2]. Như vậy ngoài góc độ thêm khâu động, tăng phạm vi làm việc và tăng công năng của máy đào, thì việc điều khiển tổ hợp máy trở nên phức tạp hơn, độ ổn định của thiết bị, mức độ an toàn cho người và thiết bị xung quanh là những vấn đề hết sức phải lưu ý khi nghiên cứu tích hợp các thiết bị đa năng nói chung, và phương án lắp đầu cắt lên máy đào để thực hiện được chức năng với sâu của thiết bị cắt trên tổ hợp mở luồng là một trường hợp cụ thể.

Với lý do nêu trên, bài báo tập trung nghiên cứu phạm vi làm việc của đầu cắt lắp trên máy đào thủy lực gầu nghịch cần hai đoạn sử dụng trên tổ hợp mở luồng hàng hải. Mục đích đặt ra là đánh giá sự thay đổi phạm vi làm việc của thiết bị và so sánh với kết cấu nguyên bản.

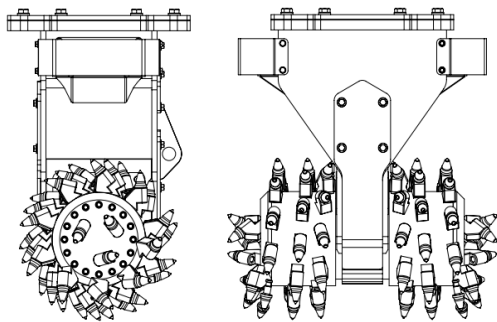
2. Tích hợp đầu cắt lên máy đào cơ sở

Thiết bị công tác của máy đào điển hình gồm các khâu cần, tay cần và gầu xúc liên kết với nhau bằng khớp bản lề O_1 , A_1 và B_1 (Hình 1). Các kích thước liên kết $a_1 = O_1A_1$, $a_2 = A_1B_1$, $a_3 = B_1C_1$ và khả năng quay quanh các khớp liên kết (góc quay giới hạn): $\alpha_a (= \alpha_{ad} + \alpha_{at})$, α_b , α_c sẽ quyết định đến phạm vi với tới của răng gầu xúc (C_1). Tùy vào lĩnh vực sử dụng và công suất của máy mà thiết bị công tác có kích thước

dài a_1, a_2 và a_3 thích hợp, các góc quay thì được chọn theo: $\alpha_{at} = 40 \div 45^\circ$, $\alpha_{ad} = 45 \div 55^\circ$; $\alpha_b = 95 \div 115^\circ$ và $\alpha_c = 140 \div 160^\circ$ [4]. Phạm vi làm việc của gầu xúc (Hình 1, gốc O là giao điểm của đường thẳng đi qua tâm quay sàn và nền máy đứng, gốc O_1 (khớp quay chân cần máy) có hoành độ cách đoạn r_0 và tung độ cao hơn khoảng H_0) được xây dựng nhờ việc quay các kích thước liên kết theo các góc giới hạn theo nguyên lý làm việc của máy (chi tiết xem ở tài liệu [1, 5]).



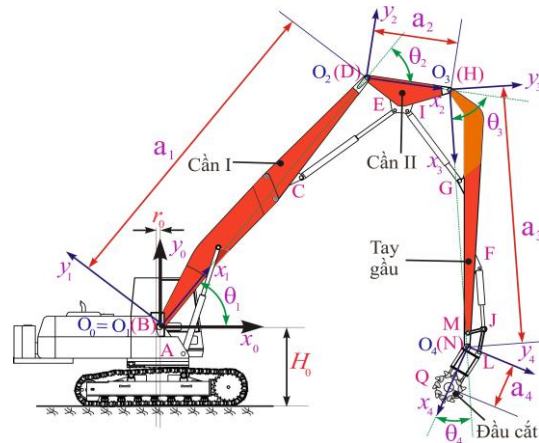
Hình 1. Sơ đồ xác định vùng làm việc của gầu xúc



Hình 2. Đầu cắt mở luồng dạng trống ngang

Đầu cắt phục vụ công tác mở luồng hàng hải có nhiệm vụ cắt phá vụn đất đá từ nền, tạo điều kiện cho thiết bị bơm hút dòng vật liệu ra khỏi luồng hàng hải [5]. Kết cấu đầu cắt dạng trống ngang ở Hình 2 là một dạng kết cấu rất phổ biến. Để tăng phạm vi với tới của bộ công tác dạng đầu cắt phục vụ công tác mở luồng, đặc biệt là nhu cầu với sâu, thiết bị công tác của máy đào được lựa chọn là dạng hai đoạn cần [7]. Như thể

hiện trên Hình 3, máy đào cơ sở được lựa chọn có bộ công các hai đoạn cần (gồm 01 đoạn cần phụ) và các khâu cần I và tay gầu có kích thước dài hơn so với máy đào thông thường ở Hình 1. Khi tích hợp bộ công tác mới này, máy đào có thể làm việc độc lập ở vùng nước nông, hoặc đặt trên các phương tiện nổi để thi công mở luồng hàng hải.



Hình 3. Sơ đồ liên kết các khâu động của thiết bị công tác của máy đào cần hai đoạn khi lắp đầu cắt

Như vậy, khi tích hợp đầu cắt lên máy đào cần hai đoạn, kích thước các khâu động và số lượng khâu động tăng lên sẽ dẫn đến hình dáng và kích thước của vùng làm việc có nhiều thay đổi. Chi tiết sẽ được đề cập trong phần còn lại của bài báo.

3. Xác định vùng làm việc của đầu cắt

Để xác định vùng làm việc của tổ hợp thiết bị, bài báo sử dụng phương pháp biến đổi Denavit - Hartenberg (D-H) [6] để tìm sự phụ thuộc của tọa độ điểm quan tâm trên khâu công tác theo các dịch chuyển của khâu dẫn động. Ở đó, quan hệ vị trí giữa hai khâu kế tiếp nhau được thể hiện bởi các tham số khớp. Với bài toán không gian, vị trí hệ tọa độ khớp $(Oxyz)_i$ đối với hệ tọa độ khớp $(Oxyz)_{i-1}$ được xác định bởi 4 thông số D-H gồm α_i, a_i, d_i và θ_i (chi tiết tham khảo Chương 3 tài liệu [3]).

Bảng 1. Các tham số Denavit - Hartenberg của cơ hệ

Khâu	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	0	$a_1(O_1O_2)$	0	θ_1
2	0	$a_2(O_2O_3)$	0	θ_2
3	0	$a_3(O_3O_4)$	0	θ_3
4	0	$a_4(O_4Q)$	0	θ_4

Không mất tính tổng quát, bài báo chỉ xem xét bài toán phẳng (cơ cấu quay sàn không làm việc). Xem máy đào là cơ hệ gồm 5 vật (khâu) rắn tuyệt đối:

khung gầm-cabin (0); cần máy I (1); cần máy II (2); tay gầu (3) và đầu cắt (4). Các khâu liên kết với nhau bằng khớp bản lề O_i (liên kết khâu $i-1$ với khâu i , với $i = 1 \div 4$). Để quan sát chuyển động của cơ hệ, ta gắn vào cơ hệ một hệ tọa độ đề các cố định $O_1x_1y_1z_1$ có gốc tại trục quay toa của máy đào. Các hệ tọa độ $O_2x_2y_2z_2$, $O_3x_3y_3z_3$ và $O_4x_4y_4z_4$ có gốc gắn tại các điểm liên kết giữa các khâu của máy và thiết bị cắt (chú ý $O_i z_i$ đều vuông góc với mặt phẳng thể hiện).

Sử dụng các tham số D-H của cơ hệ được liệt kê trong Bảng 1, ta xác định được các ma trận chuyển hay ma trận của phép biến đổi D-H giữa khâu (i) và khâu ($i-1$) với $i = 1 \div 4$:

$$D_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Theo đó ma trận biến đổi của khâu 4 (đầu cắt) với hệ tọa độ cố định được tính theo công thức sau:

$$D_0^4 = \prod_{i=1}^4 D_{i-1}^i \quad (2)$$

Thay thế các ma trận thành phần ở công thức (1) và công thức (2), nhận được kết quả sau:

$$D_0^4 = \begin{bmatrix} c_{1234} & -s_{1234} & 0 & \sum_{i=1}^4 a_i c_{1\dots i} \\ s_{1234} & c_{1234} & 0 & \sum_{i=1}^4 a_i s_{1\dots i} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Với } c_{1\dots i} = \cos \left(\sum_{j=1}^i \theta_j \right), s_{1\dots i} = \sin \left(\sum_{j=1}^i \theta_j \right).$$

Do vậy, tọa độ tâm trục trống cắt Q được tính:

$$\begin{bmatrix} x_Q \\ y_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_o + \sum_{i=1}^4 a_i c_{1\dots i} \\ H_0 + \sum_{i=1}^4 a_i s_{1\dots i} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Từ giới hạn các góc $\theta_i = [\theta_i^L \theta_i^U]$ với $i = 1 \div 4$, chúng ta có thể xác định được vùng làm việc của đầu cắt theo phương pháp tương tự như sơ đồ trên Hình 1. Chi tiết thông số đầu vào và các kết quả tính toán liên quan sẽ được trình bày ở phần sau.

4. Kết quả và nhận xét

Để thể hiện kết quả tính toán, bài báo lựa chọn máy đào cơ sở là máy Hitachi EX400LC-5 [7] và đầu cắt MB-R800 với một số thông số chính như sau:

(i) Máy đào cần một đoạn: $a_1 = 7,253\text{m}$, $a_2 = 3,051\text{m}$,

$a_3 = 1,551\text{m}$, $\theta_1 = [-55^\circ \ 60^\circ]$, $\theta_2 = [0^\circ \ 160^\circ]$, $\theta_3 = [40^\circ \ 150^\circ]$;

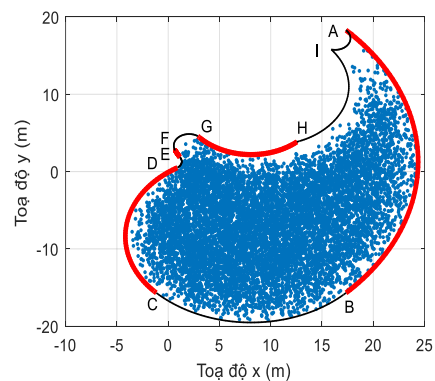
(ii) Máy đào cần hai đoạn: $a_1 = 10,951\text{m}$, $a_2 = 2,756\text{m}$, $a_3 = 8,832\text{m}$, $a_4 = 1,492\text{m}$, $\theta_1 = [-45^\circ \ 45^\circ]$, $\theta_2 = [0^\circ \ 90^\circ]$, $\theta_3 = [0^\circ \ 110^\circ]$, $\theta_4 = [0^\circ \ 150^\circ]$;

(iii) Đầu cắt: đường kính trống cắt $r_c = 300\text{mm}$ và kích thước $O_4Q = 1,492\text{m}$ (với Q là tâm trống cắt).

Cụ thể, đường bao vùng làm việc gồm 9 cung tròn được liệt kê trong Bảng 2 (ABCDEFGHIA) và minh họa bằng đường bao kín trên Hình 4. Riêng đối với cung DEF cần lưu ý, tùy vào kích thước tương đối của các khâu mà giá trị δ được lựa chọn cho phù hợp (với trường hợp khảo sát, $\delta = 0,95$). Một điểm bất kỳ nằm trong đường bao kín trên được xác định bằng việc cho các giá trị góc quay khâu dẫn bất kỳ trong khoảng giới hạn $[\theta_i^L \theta_i^U]$. Mỗi bộ giá trị của 4 góc quay θ_i với $i = 1 \div 4$ sẽ xác định một điểm nằm trong vùng làm việc (thể hiện bằng dấu chấm tròn trên Hình 4).

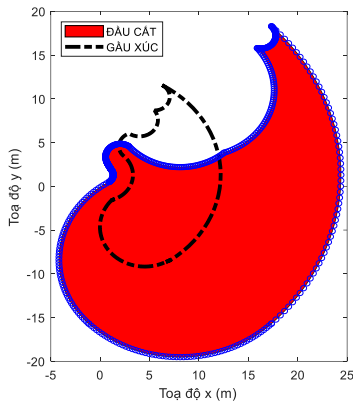
Bảng 2. Xác định cung đường bao vùng làm việc

Cung	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
1 (AB)	$[\theta_1^U \theta_1^L]$	θ_2^L	θ_3^L	θ_4^L
2 (BC)	θ_1^L	$[\theta_2^L \theta_2^U]$	θ_3^L	θ_4^L
3 (CD)	θ_1^L	θ_2^U	$[\theta_3^L \delta \cdot \theta_3^U]$	θ_4^L
4 (DE)	$[\theta_1^L \theta_1^U]$	θ_2^U	$\delta \theta_3^U$	θ_4^L
5 (EF)	θ_1^U	θ_2^U	$[\delta \theta_3^U \theta_3^U]$	θ_4^L
6 (FG)	θ_1^U	θ_2^U	θ_3^U	$[\theta_4^L \theta_4^U]$
7 (GH)	θ_1^U	$[\theta_2^U \theta_2^L]$	θ_3^U	θ_4^U
8 (HI)	θ_1^U	θ_2^L	$[\theta_3^U \theta_3^L]$	θ_4^U
9 (IA)	θ_1^U	θ_2^L	θ_3^L	$[\theta_4^L \theta_4^U]$



Hình 4. Vùng làm việc của đầu cắt trên máy đào

Từ kết quả nhận được trên Hình 5 có thể thấy rằng, vùng làm việc của thiết bị đã thay đổi rất lớn khi thay đổi bộ công tác và kết cấu cần - tay gầu. Lưu ý rằng để đơn giản các đồ thị vùng làm việc của đầu cắt được



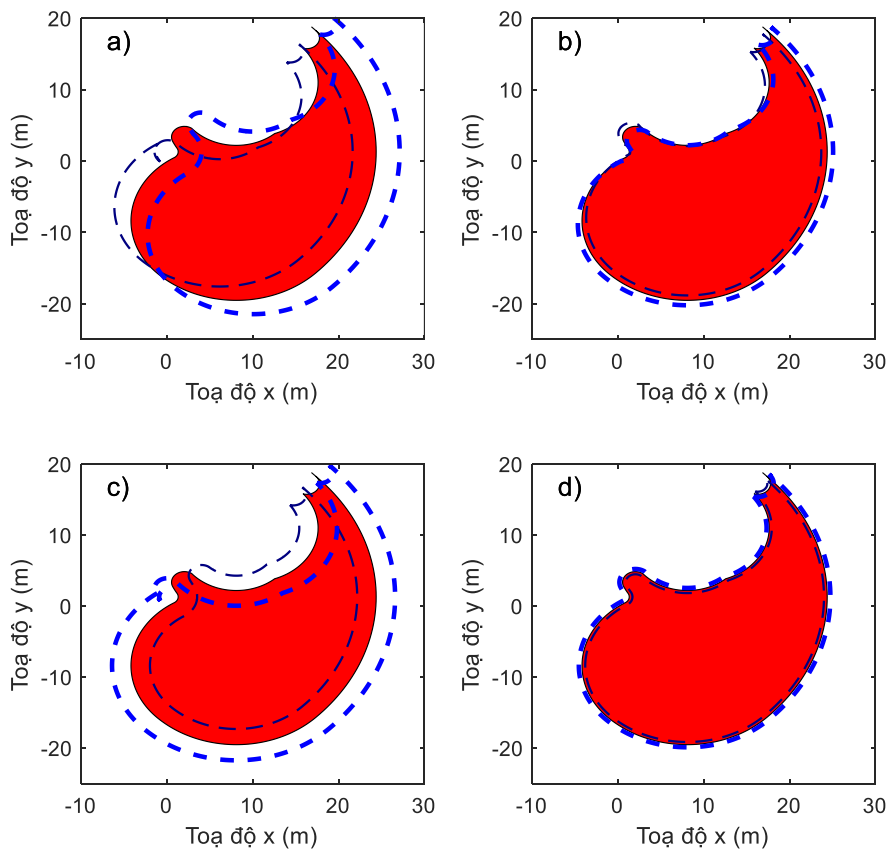
Hình 5. So sánh vùng làm việc của đầu cắt (tô màu) và gầu xúc (nét đứt) lắp trên máy đào

vẽ trên cơ sở tâm trọng cắt, với bán kính trọng cắt r_c thì điểm với tới của răng cắt có phạm vi mở rộng thêm 0,3m ra phía ngoài (thể hiện bằng các đường tròn nhỏ trên dọc theo biên vùng làm việc Hình 5). Trên đó, vùng làm việc của gầu xúc được thể hiện bằng đường bao đứt, trong khi vùng tô màu thể hiện phạm vi làm việc của đầu cắt. Tỷ lệ thay đổi của một số tham số

của hai vùng làm việc được trình bày tại Bảng 3. Hai thông số quan trọng là tầm với xa (R_{1max}) và chiều sâu (H_{1max}) với tới của răng đầu cắt đều có giá trị lớn gần gấp hai lần giá trị tọa độ làm việc đỉnh răng gầu. Thông số diện tích vùng làm việc (S_w) tăng đến 3,84 lần và cơ bản nằm ở phần thấp hơn mặt bằng máy đứng. Điều này rất phù hợp cho khả năng hoạt động của đầu cắt phục vụ mở luồng khi sử dụng cần hai đoạn. Việc tăng chiều dài các khâu đã dẫn đến thu hẹp vùng với cao gần vị trí đứng máy, điều này sẽ ảnh hưởng tới khả năng với của một số dạng thiết bị đa năng khác thao tác cao hơn mặt bằng máy đứng. Việc

Bảng 3. Các thông số chính của vùng làm việc và tỷ lệ thay đổi khi thay gầu xúc bằng đầu cắt

Tham số	Gầu xúc	Đầu cắt	Tỷ lệ thay đổi
R_{max} (m)	12.20	24.38	1.99
H_{1max} (m)	9.18	19.53	2.13
H_{3max} (m)	11.56	18.29	1.58
S_w (m ²)	155.72	597.42	3.84



Hình 6. Vùng làm việc của đầu cắt khi thay đổi kích thước cần I (a), cần II (b), tay gầu (c) và đầu cắt (d): đường nét liền ứng với a_i như ở Hình 5, nét đứt mảnh/đậm ứng với khi giảm 0,75/tăng 1,25 một trong 4 giá trị a_i .

mở rộng vùng làm việc ở hai khu vực cần phải được kiểm soát gồm: (i) vùng với sâu ở phía dưới phần đứng chân của máy đào để tránh va chạm với cọc định vị của phao nổi, và (ii) vùng với cao ở ngay sát phần thân cần để đầu cắt không va vào cần máy I.

Có thể nói rằng, khi thay đổi các kích thước liên kết giữa các khâu a_i hoặc giới hạn chuyển động của khâu dẫn θ (hành trình của các xy lanh công tác) đều sẽ ảnh hưởng đến vùng làm việc. Tiếp đến, chúng tôi sẽ nghiên cứu sự ảnh hưởng khi điều chỉnh kích thước dài của các khâu khi các góc giới hạn không đổi. Kết quả khảo sát trên Hình 6a đến Hình 6d trình bày lần lượt sự thay đổi vùng làm việc của đầu cắt khi thay đổi từ a_1 đến a_4 . Ở từng hình thành phần, đường đứt mảnh cho giá trị kích thước giảm còn 75% và đường đứt đậm cho giá trị tăng 125% kích thước ban đầu (máy cần hai đoạn). Nhìn chung, khi thay đổi kích thước cần II và kích thước dài của đầu cắt (Hình 6b và 6d), vùng làm việc thay đổi không đáng kể. Ngược lại, khi thay đổi kích thước cần I và tay gầu, vùng làm việc sẽ thay đổi khá lớn về kích thước và vị trí. Với cần I, vùng làm việc có xu hướng giảm và tăng tầm với, trong khi tay gầu khiến cho vùng làm việc thu hẹp và phát triển đều các hướng (tương ứng với kích thước 75% và 125%). Việc sử dụng tay gầu ngắn sẽ làm tăng khả năng với cao gần chân máy. Điều này rất tương đồng với kết quả nghiên cứu [1, 8] khi chỉ tăng kích thước liên kết tổng cộng của cần I và II.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày nội dung tích hợp đầu cắt thay thế gầu xúc trên máy đào thủy lực cần hai đoạn phục vụ công tác mở luồng. Các kết quả thu được cho thấy vùng phạm vi làm việc của bộ công tác đã thay đổi cơ bản so với máy nguyên bản khi thay thế gầu xúc bằng đầu cắt. Cụ thể, nhận thấy rằng việc tăng kích thước và số lượng khâu động với việc sử dụng kết cấu cần hai đoạn đã đạt được mục đích máy mở rộng vùng làm việc xuống phía dưới mặt bằng máy đứng, rất phù hợp cho nhu cầu của công tác mở luồng. Tuy nhiên, cần phải kiểm soát vùng làm việc không an toàn của đầu cắt. Sự thu hẹp khả năng với cao của những bộ công tác khác (búa hoặc kim phá dỡ) ở khu vực gần vị trí đứng là điểm hạn chế khi sử dụng dạng cần hai đoạn đề cập.

Hướng nghiên cứu tiếp là xét đến bài toán động học cho việc xác định mối liên hệ giữa dịch chuyển của các xy lanh thủy lực và tốc độ di chuyển đầu cắt cũng như chiều dày phoi cát vệt cắt. Thêm vào đó, trong khai thác cần xem xét điều kiện ổn định và khả năng an toàn của thiết bị ở vùng mở rộng và phải kể

đến khối lượng tích hợp thêm và lực tương tác của nó với môi trường khi không cố định hay neo máy với nền hay sàn công tác.

Lời cảm ơn

Bài báo cảm ơn sự tài trợ của Đề tài nghiên cứu và phát triển công nghệ Quốc gia, mã số ĐTDL.CN-38/20-C.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trịnh Văn Hải và nhóm nghiên cứu, *Nghiên cứu khả năng mở rộng phạm vi làm việc của các dạng thiết bị thay thế lắp trên máy đào thủy lực một gầu*, Tạp chí cơ khí Việt Nam, 2015.
- [2] Nguyễn Văn Hiền và nhóm nghiên cứu, *Nghiên cứu tích hợp đầu cắt lên máy đào thủy lực gầu nghịch phục vụ công tác thi công hầm*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2020.
- [3] Nguyễn Văn Khang, *Động lực học hệ nhiều vật*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [4] Крикун В.Я., Манасян В., *Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата*, 2001.
- [5] Vlasblom, W.J., *Lecture on dredging equipment*, Central Dredging Association, 2003.
- [6] Denavit, J., and Hartenberg, R.S. *A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices*. Trans ASME J. Appl. Mech. Vol.23: pp.215-221, 1955.
- [7] Hitachi Coporation, *Excavator EX400LC-5 operating manual*.
- [8] Yu, X., Wang, Z., Li, Z., and Sun, C. *Design and Kinematics Analysis of Four-linkage Excavator*. In Proceedings of the 2019 International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence, pp.605-610, 2019.

Ngày nhận bài:	27/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	06/8/2021
Ngày duyệt đăng:	15/8/2021