

Một giải pháp hoán cải hệ thống thủy lực trên máy xúc phục vụ bài toán điều khiển từ xa

■ **ThS. ĐỖ QUẢNG ĐẠI**

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự

Email: quangdaikt206@gmail.com

TÓM TẮT: Trong điều kiện làm việc luôn chịu sự rung lắc và đập mạnh, để tăng độ bền cho thiết bị, các hãng sản xuất máy xúc thường chế tạo hệ thống thủy lực điều khiển bằng tay cơ trên cabin. Tuy nhiên, tại nhiều vị trí địa hình đặc biệt nguy hiểm hay trong môi trường làm việc khắc nghiệt và độc hại (trong hầm mỏ, lò đốt nhiệt độ cao, dò bom mìn, vật liệu nổ...) con người không thể vận hành trực tiếp trên cabin. Do đó, cần thiết nghiên cứu hoán cải hệ thống thủy lực điều khiển cơ bằng tay sang hệ thống thủy lực điều khiển bằng tín hiệu điện. Hệ thống này là tiền đề để có thể áp dụng công nghệ hiện đại điều khiển máy xúc từ xa, an toàn cho người vận hành. Trong bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu, tính toán, lựa chọn giải pháp hoán cải hệ thống thủy lực đối với máy xúc của hãng Bobcat (Bobcat E20) mà không làm ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống nguyên bản trên máy. Sau hoán cải, máy xúc có thể chạy song song hai chế độ, một chế độ điều khiển nguyên bản, một chế độ điều khiển từ xa.

TỪ KHÓA: Máy xúc, hệ thống thủy lực, điều khiển từ xa.

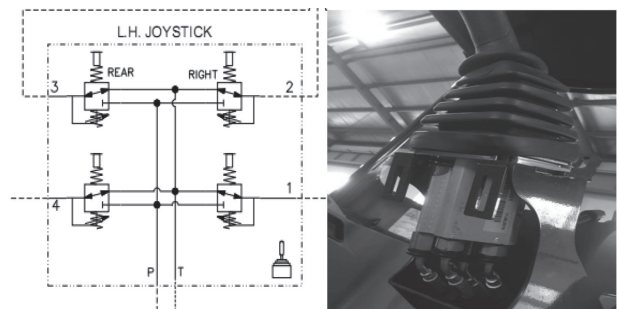
ABSTRACT: In order to enhance the equipment's longevity under harsh vibration and shock conditions, excavator manufacturers typically incorporate hydraulic systems with manual mechanical control within the cabin. However, a lot of places (like mines, high-temperature incinerators, mine detectors, explosives, etc.) are extremely hazardous or have unfavorable working conditions, making it impossible for people to operate directly inside the cabin. As a result, it is essential to research and change the hydraulic system that is manually operated to one that is controlled by an electrical signal. From there, the operator may securely and remotely operate the excavator by utilizing contemporary technology. The goal of this essay is to investigate, compute, and select a method for converting the hydraulic system for Bobcat excavators without compromising the original. In order to change the hydraulic system for Bobcat excavators without

damaging the machine's entire original system, this article will investigate, calculate, and select a suitable alternative. Following conversion, there are two operating modes for the excavator: remote control mode and original control mode.

KEYWORDS: Excavator, hydraulic system, remote control.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy xúc Bobcat E20 là loại máy xúc cỡ nhỏ thực hiện chức năng đào, xúc... trong lĩnh vực xây dựng hoặc có thể được sử dụng trong một số lĩnh vực đặc thù [1-2]. Một trong những hệ thống quan trọng của máy xúc là hệ thống điều khiển [3] và hệ thống thủy lực [4-5]. Khảo sát thực tế trên máy và tài liệu thiết kế của hãng sản xuất [6] cho thấy, trên máy xúc Bobcat E20 có các thành phần công tác cần điều khiển sau: Xy-lanh nâng cần, xy-lanh cánh tay, xy-lanh gầu múc, động cơ quay sàn, động cơ bánh xích trái, động cơ bánh xích phải. Hệ thống điều khiển trên cabin bao gồm: Hai tay trang thủy lực điều khiển cánh tay, 2 tay cơ thuần túy điều khiển di chuyển máy, 2 biến trở tích hợp trên hai tay trang để điều khiển quay cần phụ và đường công tác tùy biến (búa đập, bộ kẹp, gầu ngoạm...). Ngoài ra, còn một số nút nhấn phụ trợ khác. Sơ đồ nguyên lý và tay trang của máy xúc được thể hiện trên Hình 1.1.



Hình 1.1: Sơ đồ nguyên lý của tay trang và hình ảnh trong thực tế

Hệ thống sử dụng 2 tay trang thủy lực để điều khiển 4 cơ cấu chấp hành: Xy-lanh nâng cần, xy-lanh cánh tay, xy-lanh gầu múc và động cơ quay sàn. Bản chất tay trang

thủy lực này là gồm 4 van tỷ lệ áp suất điều khiển cơ (bằng tay), có chức năng điều khiển cánh tay máy xúc có thể thực hiện mọi thao tác cần thiết một cách linh hoạt. Ngoài ra, hệ thống sử dụng 2 tay di chuyển kéo cơ để điều khiển 2 động cơ di chuyển và một tay kéo cơ với công tắc chuyển đổi cho xy-lanh nâng hạ lưỡi gạt và xy-lanh mở rộng bánh. Đây là 2 tay tác động trực tiếp đến van phân phối điều khiển động cơ thủy lực của bánh xích. Về tổng thể, hệ thống điều khiển thủy lực trên máy xúc Bobcat E20 gồm 9 van phân phối tỷ lệ phục vụ điều khiển dòng dầu từ 3 bơm đi vào các cơ cấu chấp hành, theo sự thao tác các cơ cấu điều khiển trên cabin của người lái. Qua việc nghiên cứu sơ đồ thủy lực và thực tế khảo sát trên máy, tác giả nhận thấy 9 van phân phối này là van phân phối tỷ lệ loại 6 cửa 3 vị trí (con trượt 6/3), có giảm tải rãnh giữa, để trong chế độ nghỉ, dầu từ bơm cấp được giảm tải về thùng, không làm nóng dầu. Trong đó, có 6 van được điều khiển bởi con trượt tỉ lệ với tín hiệu thủy lực được cấp vào các đầu chụp con trượt.

Trong 6 con trượt này thì có 2 con trượt đã được điều khiển bởi 4 van giảm áp điện tỉ lệ có sẵn trên máy. Có 3 van được điều khiển bởi con trượt tỉ lệ với tín hiệu là dạng cơ khí, kéo và đẩy các con trượt này. Thực tế khai thác máy xúc cho thấy, máy xúc thường phải làm việc trong một môi trường không ổn định, chịu sự rung lắc, va đập mạnh, do đó việc điều khiển máy xúc thường được thực hiện bằng tay trên cabin thông qua hệ thống thủy lực. Tuy nhiên, trong thực tế có nhiều vị trí địa hình đặc biệt nguy hiểm hay trong môi trường làm việc khắc nghiệt và độc hại mà việc điều khiển trực tiếp bằng tay bởi con người là không khả thi, ví dụ như trong hầm mỏ, lò đốt nhiệt độ cao hoặc khi dò bom mìn, vật liệu nổ [7]. Vì vậy, việc nghiên cứu hoán cải hệ thống thủy lực điều khiển cơ bằng tay sang hệ thống thủy lực điều khiển bằng tín hiệu điện là một bài toán cấp thiết. Để giải quyết vấn đề thực tế cấp thiết này, ở phần tiếp theo, bài báo này tập trung vào việc nghiên cứu, lựa chọn giải pháp cải tiến hệ thống thủy lực của máy xúc Bobcat E20 phục vụ bài toán điều khiển từ xa.

2. GIẢI PHÁP HOÁN CẢI HỆ THỐNG THỦY LỰC

Để có thể phục vụ bài toán điều khiển máy xúc từ xa, tác giả đã nghiên cứu hai phương án: Hoán cải phần công suất và hoán cải hệ thống điều khiển. Trong phương án hoán cải phần công suất, các van phân phối tỷ lệ điều khiển bằng thủy lực nguyên bản trên máy xúc được thay bằng các van phân phối tỷ lệ điều khiển bằng tín hiệu điện. Tuy nhiên, qua quá trình khảo sát tín hiệu thấy rằng các van phân phối này đều là loại 6 cửa, 3 vị trí, có giảm tải rãnh giữa và là loại tỉ lệ, nên không có các van tỉ lệ công nghiệp tương đương để hoán cải (các van tỉ lệ công nghiệp đều là loại 4 cửa 3 vị trí). Do đó, phương án hoán cải các van phân phối là không khả thi, nên chỉ có thể tập trung hoán cải trên phần tín hiệu điều khiển. Giải pháp này cho chi phí thấp hơn, hệ thống rẻ hơn, mà vẫn giữ nguyên mọi đặc tính của máy đã được nhà sản xuất thiết lập.

Đối với hoán cải phần điều khiển, các van phân phối tỷ lệ phần công suất của hệ thống điều khiển thủy lực trên máy xúc có con trượt thuộc 2 dạng điều khiển khác nhau:

Điều khiển bằng tín hiệu áp suất tỷ lệ hoặc điều khiển bằng cơ.

Đối với các van phân phối tỷ lệ có con trượt được điều khiển bằng tín hiệu áp suất thủy lực tỷ lệ từ các tay trang điều khiển thủy lực tích hợp ngay trên cabin. Để điều khiển từ xa, cần tạo tín hiệu áp suất thủy lực điều khiển bởi van giảm áp điện tỉ lệ, ở đây, sử dụng thêm 1 van shuttle (hay van logic OR), cho phép hệ thống điều khiển song song, có nghĩa là vẫn điều khiển bằng tay trang thủy lực của máy, hoặc điều khiển từ xa thông qua việc cấp điện tỉ lệ cho van giảm áp điện tỉ lệ.

Trong trường hợp này, bắt buộc phải sử dụng van giảm áp điện tỉ lệ, không dùng được van điện tỉ lệ 4/3 bởi các van 4/3 này là van điện tỉ lệ lưu lượng, ngay khi lượng dầu điền đầy vào chụp con trượt. Ngay lập tức, áp suất trong chụp con trượt này sẽ bằng với áp suất cấp vào cổng P của van, điều này dẫn đến ngay lập tức con trượt sẽ mở hết toàn bộ hành trình, sự điều khiển tỉ lệ của con trượt trên phân phối của máy xúc sẽ bị mất đi, thay vào đó trở thành việc đóng mở ON/OFF.

Đối với các van phân phối tỷ lệ có con trượt được điều khiển cơ (thuộc van phân phối điều khiển 2 động cơ bánh xích và xy-lanh lưỡi gạt dưới) sẽ tương đối khó khăn, phải tạo ra tín hiệu thủy lực để tương tác lên tay cơ, tạo độ mở tay cơ tương tự như khi người lái thao tác tay cơ. Độ mở tay cơ sẽ phụ thuộc vào độ lớn về áp suất của tín hiệu thủy lực này. Nhóm tác giả đã tiến hành đo lường lực tác động lên tay cơ, hành trình tay cơ, để từ đó làm đầu vào lực phục vụ tính toán thiết kế một xy-lanh tác động hai chiều, có lò xo định tâm, với hành trình xy-lanh tối đa về một phía tỉ lệ với hành trình con trượt.

Kết quả khảo sát thực tế máy với hai tay di chuyển, sẽ lắp thêm xy-lanh thủy lực tại ngay vị trí của pe-dan điều khiển, xy-lanh này được điều khiển bởi hai van giảm áp điện tỉ lệ, với hành trình của xy-lanh phụ thuộc vào độ chênh áp của hai van giảm áp này. Khi máy không ở chế độ điều khiển từ xa, hai khoang của xy-lanh đều được nối về hồi, cho phép xy-lanh dao động tự do theo tay cơ điều khiển di chuyển của máy. Điều này cho phép điều khiển bằng tay cơ nguyên bản của máy một cách bình thường. Tuy nhiên, lực tay điều khiển sẽ tăng thêm khoảng 10% sau khi tính toán lực. Đối với tay cơ điều khiển lưỡi gạt (hoặc cần phụ) cũng theo nguyên lý như trên.

Như vậy, hệ thống này cần 3 xy-lanh tác động hai chiều để thay thế cho tín hiệu điều khiển bởi tay cơ. Để điều khiển 3 xy-lanh này cần 6 van giảm áp điện tỉ lệ và 6 van logic OR. Với 4 con trượt điều khiển xy-lanh cần, xy-lanh tay, xy-lanh gầu, mô-tơ quay sàn sẽ cần 8 van giảm áp tỉ lệ và 8 van logic OR, phục vụ cho việc điều khiển song song bằng cả trên cabin lẫn điều khiển từ xa.

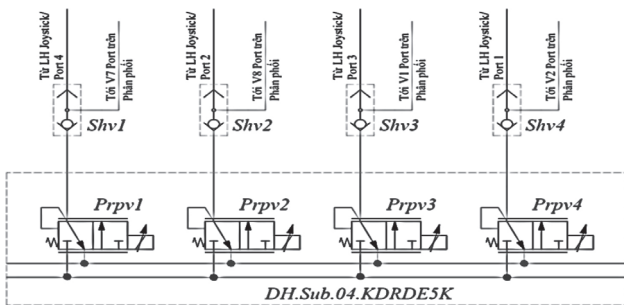
Máy xúc Bobcat E20 là loại máy cỡ rất nhỏ, các không gian máy đã được nhà sản xuất bố trí tối ưu, do vậy ưu tiên sử dụng các van giảm áp tỉ lệ kiểu cartridge, các van logic kiểu co chữ T, để giảm kích thước hệ thống. Các đế lắp cho các van cartridge này sẽ được thiết kế và chế tạo tùy biến riêng theo không gian lắp đặt hiện trạng trên máy. Nhằm mục đích cố gắng không ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ, mỹ

quan của máy, làm giảm giá trị của máy mới, các van này sẽ sử dụng loại coil tỉ lệ, sử dụng với điện áp DC24V, đặc tính của van như trên hình vẽ, điều khiển bởi dòng mA cấp vào van. Nếu điều khiển bởi phương pháp điều xung điều rộng PWM thì tần số PWM phải nằm ở dải từ 100 -200 Hz, tần số cao hơn tần số này sẽ làm giảm tuổi thọ của coil van.

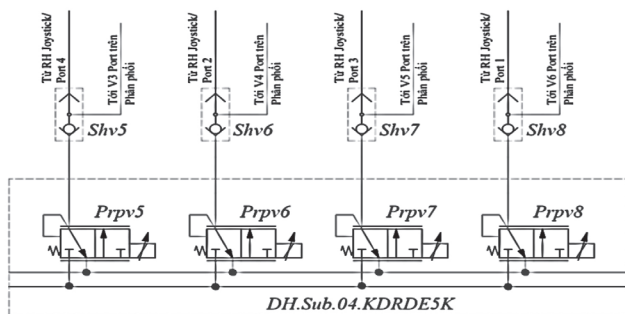
3. TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ HỆ THỐNG HOÁN CẢI

3.1. Thiết kế hệ thống hoán cải hai tay trang thủy lực

Bản vẽ sơ đồ nguyên lý thủy lực hoán cải cho tay trang trái, tay trang phải được thể hiện trên Hình 3.1, Hình 3.2 (giữ nguyên tay trang trên cabin máy xúc).



Hình 3.1: Sơ đồ nguyên lý hoán cải tay trang trái

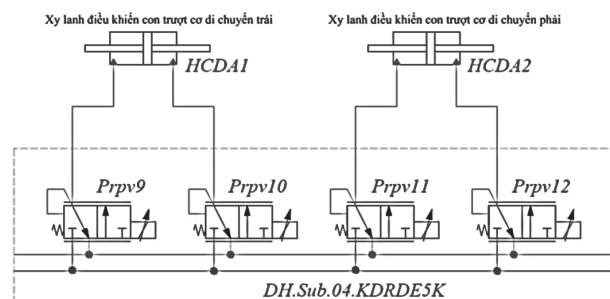


Hình 3.2: Sơ đồ nguyên lý hoán cải tay trang phải

Trong đó: Prpv1, Prpv2 - Các van giảm áp điện tỉ lệ điều khiển con trượt quay sà; Prpv3, Prpv4 - Điều khiển con trượt gầu mức; Prpv5, Prpv6 - Điều khiển con trượt gầu; Prpv7, Prpv8 - Điều khiển con trượt nâng cần; Shv1, Shv2, Shv3, Shv4, Shv5, Shv6, Shv7, Shv8 - Các van logic dạng cơ chữ T (để giảm tải không gian lắp đặt).

3.2. Thiết kế hệ thống hoán cải hai tay cơ di chuyển

Sơ đồ nguyên lý hoán cải cho hai tay cơ di chuyển (Hình 3.3):



Hình 3.3: Sơ đồ nguyên lý hoán cải cho hai tay cơ di chuyển cơ

Trong đó: HCDA1, HCDA2 - Các xy-lanh điều khiển con trượt tay cơ di chuyển trái, phải; Prpv9, Prpv10,

Prpv11, Prpv12 - Các van giảm áp điện tỉ lệ dạng cartridge; DH.Sub.04.KDRDE5K - Khối để chuyên dụng lắp 4 van giảm áp tỉ lệ dạng cartridge.

Xy-lanh điều khiển được lắp đặt với 1 đầu gá vào tay cơ điều khiển nguyên bản qua chốt trụ. Để thiết kế được hai xy-lanh này, trước tiên tác giả khảo sát lực thực tế tại điểm đặt và hành trình di chuyển như sau:

- Lực kéo và lực đẩy để con trượt van phân phối di chuyển bắt đầu cắt được dòng dầu giảm tải về hồi là 120 N. Lực khi mở hết hành trình khoảng 220 N.

- Hành trình tại điểm đặt (khi ở trung gian) tới khi mở hết hành trình tiến là 22 mm, ở điểm đặt trung gian tới khi mở hết hành trình lùi là 24 mm. Tổng hành trình là 46 mm. Do vậy, cần chọn hành trình xy-lanh lớn hơn 46 mm, ở đây tác giả chọn hành trình xy-lanh là 52 mm.

Để đồng bộ điều khiển với tay cơ nguyên bản trên máy xúc, nhóm tác giả thiết kế xy-lanh tác động hai chiều, có trợ lực hồi vị bằng lò xo ở hai đầu. Ở vị trí trung gian, lực biến dạng của hai lò xo đối trừ lẫn nhau. Lò xo này có độ cứng K ($K = 0,2 \text{ kg/mm}$), độ dài 65 mm đã được chọn và được lắp với độ biến dạng ban đầu là 8 mm. Theo khảo sát thực tế trên máy xúc, áp suất để mở được con trượt di chuyển cắt cắt được dòng dầu giảm tải là 15 kg/cm^2 , đây là thời điểm pít-tông bắt đầu di chuyển. Trong nghiên cứu này, tác giả đã chọn đường kính pít-tông là 10 mm, làm cơ sở tính toán đường kính nòng xy-lanh.

Lực tác động từ đầu xy-lanh lên tay cơ điều khiển phải đạt giá trị vừa làm pít-tông di chuyển vừa thắng được các lực cản khó xác định, bao gồm:

- Lực cản ma sát ở các gối xoay;
- Lực cản ma sát do phốt làm kín của xy-lanh (bao gồm cả phốt pít-tông và phốt cần) (phụ thuộc áp suất và cả tốc độ, gia tốc của pít-tông).

Các lực cản này không đo được trong thực tế mà được đánh giá dựa trên kinh nghiệm. Trong bài báo này, tác giả đánh giá giá trị lực cản xấp xỉ 25 N. Do đó, lực cản tác động lên tay cơ nguyên bản là:

$$F_t = 120 + 25 = 145 \text{ (N)} \quad (1)$$

Lực cản của lò xo (lúc này lò xo biến dạng là 11 mm và 8 mm, lực biến dạng ban đầu, lò xo đối xứng đã giãn hết và không tạo lực) do biến dạng là:

$$F_{\text{can}} = 0,2 \times 19 = 3,8 \text{ (kg)} = 38 \text{ (N)} \quad (2)$$

Lực do áp suất trong xy-lanh cần tạo ra là:

$$F_{\text{cy}} = F_t + F_{\text{can}} = 183 \text{ (N)} \quad (3)$$

Mặt khác, lực tác động lên đầu xy-lanh này cũng được tính toán dựa trên kích thước xy-lanh và áp suất đầu vào theo (4):

$$F_{\text{cy}} = \left(\frac{3,14 \times (d_{\text{xy-lanh}}^2 - d_{\text{piston}}^2)}{4} \right) \times 15 \text{ (N)} \quad (4)$$

Trong đó: $d_{\text{xy-lanh}}$ - Đường kính xy-lanh; d_{piston} - Đường kính pít-tông.

Với $d_{\text{piston}} = 10 \text{ mm}$, dễ dàng thu được $d_{\text{xy-lanh}} = 16 \text{ mm}$.

Sau khi thu được đường kính xy-lanh, tác giả kiểm tra lực tạo do xy-lanh tại vị trí cuối hành trình, tức tại nơi mà áp suất trong xy-lanh là 26 kg/cm^2 theo (4):

$$F_{\text{cy}} = 318 \text{ (N)} \quad (5)$$

Lực cản do lò xo (lò xo biến dạng khi đi hết hành trình là 32 mm, lò xo đối xứng đã giãn hết, không gây giảm lực cản):

$$F_{\text{can}} = 0,2 \times 32 = 6,4 \text{ kg} = 64 \text{ (N)} \quad (6)$$

Tổng lực tác động do xy-lanh và lò xo:

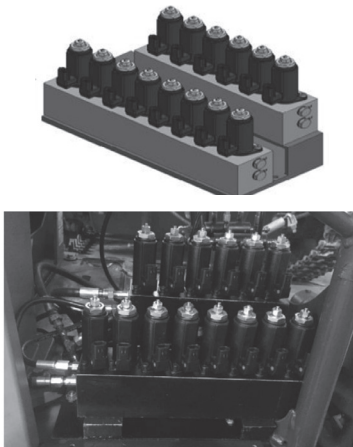
$$F_t = F_{\text{cy}} - F_{\text{can}} = 318 - 64 = 254 \text{ (N)} \quad (7)$$

Lực tác động này lớn hơn 220 N, theo đánh giá ban

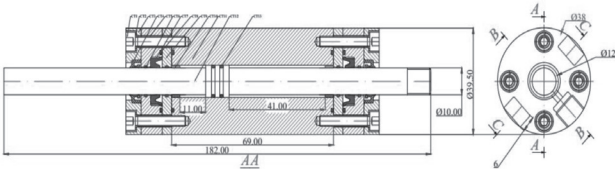
đầu, giá trị này cần thiết để bù vào các lực khó kiểm soát và không ổn định như đã nói trên. Tổng lực này đảm bảo để xy-lanh di chuyển hết hành trình giúp máy xúc hoạt động bình thường như trong chế độ điều khiển trực tiếp trên cabin.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

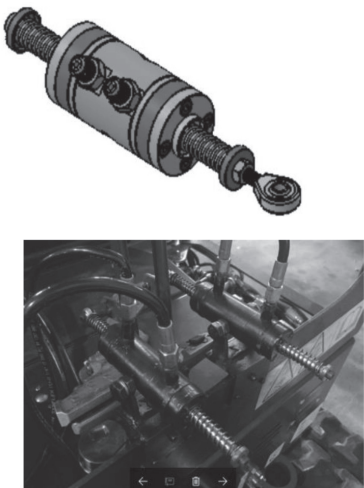
Các tấm đế van giảm áp tỷ lệ và xy-lanh được thiết kế trên phần mềm Solidworks, kết quả gia công đạt được như Hình 4.1 - 4.3.



Hình 4.1: Thiết kế 3D và lắp đặt thực tế cụm van giảm áp tỷ lệ



Hình 4.2: Thiết kế xy-lanh điều khiển tay cơ di chuyển



Hình 4.3: Thiết kế 3D và lắp đặt thực tế xy-lanh điều khiển tay cơ di chuyển

Bảng 4.1. Tốc độ di chuyển thấp nhất của các cơ cấu

STT	Tên cơ cấu	Tốc độ thấp nhất đạt được (mm/s)					
		Cabin máy xúc			Cabin điều khiển từ xa		
		Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 1	Lần 2	Lần 3
1	Gầu xúc	2,33	2,45	2,35	2,00	2,15	2,12

2	Cánh tay	0,67	0,70	0,68	0,50	0,52	0,55
3	Cần máy	1,00	1,20	1,15	0,85	0,80	0,90
4	Quay sàn	3,6	3,6	3,4	3,0	3,2	3,3

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một giải pháp hoán cải hệ thống thủy lực trên máy xúc phục vụ bài toán điều khiển từ xa. Sau hoán cải, máy xúc có thể chạy song song hai chế độ, một chế độ điều khiển nguyên bản và một chế độ điều khiển từ xa. Đồng thời, lúc này hệ thống các van phân phối tỷ lệ phần công suất được điều khiển bằng áp suất tỷ lệ từ đầu ra của van giảm áp tỷ lệ. Áp suất này được điều khiển bởi tín hiệu dòng điện 0 -750 mA với bước nhảy 1 mA. Do vậy, hệ thống điều khiển thủy lực mới giúp vận hành các cơ cấu cánh tay đạt độ chính xác cao hơn, mịn hơn so với hệ thống điều khiển bằng tay cơ trên cabin. Thực nghiệm cho thấy, hệ thống thủy lực sau khi cải tiến cho phép thực hiện điều khiển từ xa các thao tác cơ bản máy xúc. Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng trong khi máy xúc phải làm những nhiệm vụ đặc biệt, như việc dò tìm vật liệu nổ, trong hầm mỏ hoặc trong các điều kiện nguy hiểm cho người vận hành.

Tài liệu tham khảo

[1]. W. E. N. Hao (2011), *Analysis report of 2010 excavator market in China*, Construction Machinery Technology & Management, vol.2, article 23.

[2]. *Global excavator market report: 2014 edition*, 2014.

[3]. H. Yu, Y. Liu, and M. S. Hasan (2010), *Review of modelling and remote control for excavators*, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, vol.2, no.1-2, pp.68-80.

[4]. Jiaqi Xu and Hwan-Sik Yoon (2016), *A Review on Mechanical and Hydraulic System Modeling of Excavator Manipulator System*, Journal of Construction Engineering, 11p.

[5]. B. P. Patel and J. M. Prajapati (2011), *A review on kinematics of hydraulic excavator's backhoe attachment*, International Journal of Engineering Science and Technology, vol.3, no.3, pp.1990-1997.

[6]. Bobcat Company (2018), *Tài liệu hướng dẫn sử dụng máy xúc Bobcat E20 Service Manual*.

[7]. Vũ Quốc Huy (2020), Thuyết minh Đề tài Khoa học và công nghệ: "Nghiên cứu thiết kế, chế tạo tổ hợp thiết bị điều khiển từ xa dò bom mìn, vật nổ và có khả năng đào, xúc, gắp ở độ sâu đến 1,5 m".

Ngày nhận bài: 20/02/2024
Ngày nhận bài sửa: 14/3/2024
Ngày chấp nhận đăng: 02/4/2024