

SỬ DỤNG VAN TỶ LỆ VÀ VAN GIẢM ÁP TRONG ĐIỀU KHIỂN CHÍNH XÁC LỰC KẸP BOM CỦA MÁY ĐÀO GẮP BOM ĐIỀU KHIỂN TỪ XA USING PROPORTIONAL VALVE AND REDUCING VALVE IN THE PRECISE CONTROL OF GRIPPING FORCE ON THE REMOTE CONTROLLED EXPLOSIVE DISPOSAL MACHINE

NGUYỄN DUY ĐẠT^{1*}, CHU VĂN ĐẠT¹, LÊ VĂN SỸ², LÊ VĂN DŨƠNG¹

¹Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Trường Đại học Dầu khí Việt Nam

*Email liên hệ: nguyenduydat1987@gmail.com

Tóm tắt

Máy đào gắp bom điều khiển từ xa được thiết kế chế tạo ở Việt Nam trên cơ sở nghiên cứu, thiết kế, tích hợp các thiết bị lên máy cơ sở Komatsu PC130-6. Một trong những thao tác quan trọng của máy là gắp bom. Ở thao tác này, các yêu cầu về độ chính xác (về lực kẹp, về tốc độ tiếp xúc), tính an toàn được đặt lên hàng đầu. Để thực hiện thao tác kẹp bom, máy sử dụng cơ cấu kẹp gắp gồm má kẹp và gầu xúc, được dẫn động bằng hệ thống thủy lực gồm bơm điều khiển LS-PC và các van điện tỷ lệ, van giảm áp. Bài báo tập trung vào việc xây dựng hoàn chỉnh mô hình động lực học hệ thống dẫn động cơ cấu kẹp. Trên cơ sở đó, thực hiện mô phỏng, tính toán để đưa ra quy luật thay đổi của các thông số động lực học trong quá trình kẹp bom. Quá trình điều khiển chính xác lực kẹp bom được đánh giá đầy đủ, từ đó phân tích, đưa ra các khuyến cáo cần thiết cho quá trình thiết kế, cũng như điều khiển vận hành cơ cấu kẹp bom.

Từ khóa: Cơ cấu kẹp, hệ thống thủy lực, bơm LS-PC, van tỷ lệ, van giảm áp.

Abstract

The remote controlled explosive disposal machine is designed and manufactured in Vietnam on the basis of research, design, and integration of equipments on the Komatsu PC130-6 base machine. One of the important operations of the machine is the bomb gripping. In this operation, the requirements of accuracy (about gripping force, contact speed), and safety are put in the first place. To perform the bomb gripping operation, the machine uses a gripping mechanism consisting of a gripper and an excavator bucket, driven by a hydraulic system including an LS-PC controlled pump and proportional electric valves and pressure reducing valves. The article focuses

on building a complete dynamic model of the gripping mechanism drive system. On that basis, perform simulations and calculations to give the law of dynamic parameters during bomb gripping. The precise control of the bomb gripping force is fully evaluated, thereby the necessary recommendations are given for the design process as well as for controlling the operation of the bomb gripping mechanism.

Keywords: The gripping mechanism, hydraulic system, pump LS-PC, proportional valve, pressure reducing valve.

1. Đặt vấn đề

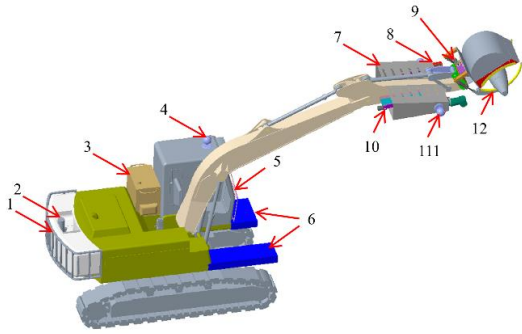
Máy đào gắp bom điều khiển từ xa được Việt Nam nghiên cứu, thiết kế, chế tạo trên cơ sở máy đào thủy lực Komatsu PC130-6. Máy được tích hợp các chức năng mới để phục vụ công tác xử lý bom mìn như: Cơ cấu đào đất - kẹp gắp bom, thiết bị Ra đa xuyên đất, thiết bị xói bằng tia nước áp lực cao, bơm hút nước tiêu ngập, búa thủy lực và hệ thống thủy lực được điều khiển từ xa và tại chỗ. Các bộ phận chính của máy được thể hiện trên Hình 1.

Máy đào gắp bom điều khiển từ xa của Việt Nam có một số khả năng vượt trội khi so sánh với các xe Công binh của nước ngoài (Ubim của Nga, Wisent 2 của Đức và Kodiak của Anh) như: Khả năng điều khiển từ xa, khả năng tự dò tìm, khả năng xử lý hố đào,... Cơ cấu đào đất - kẹp bom vừa có khả năng đào đất, vừa có thể kẹp gắp bom và xoay được các góc kẹp gắp khác nhau.

Trong nghiên cứu [1], tác giả đã đưa ra các phân tích động lực học của cơ cấu đào đất - kẹp gắp bom sử dụng hệ thống dẫn động thủy lực gồm: Bơm chính có điều khiển LS-PC, các van servo điều khiển tao tác kẹp gắp và xoay, sử dụng phản hồi áp suất thông qua cảm biến áp suất tại khoang pít tông của xi lanh kẹp.

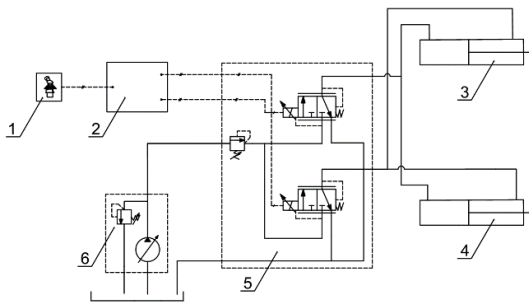
Vì nhiều lý do khác nhau (dịch bệnh, giá cả, thời

gian giao hàng) ý tưởng sử dụng van servo không thể thực hiện được, do đó nhóm nghiên cứu quyết định chuyển hướng sử dụng phương án tích hợp van giảm áp và van điện tỷ lệ để điều khiển thao tác kẹp bom, thao tác xoay sử dụng van chờ trên máy đào cơ sở.



Hình 1. Máy đào gắp bom ĐKTX

1. Téc nước 1,1m³; 2. Bom chìm đặt trong téc; 3. Máy phát điện 7,5kW; 4. Camera giám sát 360°; 5. Lớp bảo vệ Cabin lái; 6. Đối trọng cân bằng cho téc nước; 7. Cơ cấu bảo vệ hệ dẫn động bom, radar; 8. Hệ dẫn động Radar chuyển động tịnh tiến; 9. Cơ cấu quay gầu; 10. Hệ dẫn động bom bùn chuyển động tịnh tiến; 11. Hai camera giám sát quá trình đào, gắp; 12. Cơ cấu kẹp bom



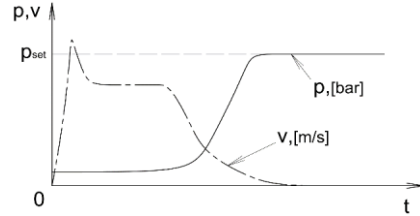
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống thủy lực dẫn động xi lanh kẹp

1. Tay điều khiển điện; 2. Bộ điều khiển và khuếch đại tín hiệu; 3,4. Xi lanh kẹp; 5. Khối van thủy lực; 6. Khối bơm.

Sơ đồ nguyên lý hệ thống thủy lực dẫn động kẹp gắp bom được thể hiện trong Hình 2.

Để điều khiển chính xác lực kẹp bom, hệ thống sử dụng hệ thống thủy lực với bơm chính của máy cơ sở, khối van thủy lực gồm 2 van phân phối điện tỷ lệ và van giảm áp điều chỉnh cơ khí. Tín hiệu điều khiển LS được lấy sau van phân phối tỷ lệ để điều khiển bơm chính. Với việc xác định trước loại bom cần xử lý, sẽ tính toán được áp suất kẹp cần thiết và cài đặt van giảm áp với giá trị phù hợp.

Áp suất trong khoang pít tông của xi lanh kẹp và vận tốc dịch chuyển pít tông cần đạt được quy luật như trên Hình 3. Khi bắt đầu tiếp xúc với bom, áp suất trong khoang pít tông dần đạt giá trị cài đặt, đồng thời vận tốc tiếp xúc giảm dần về giá trị 0.



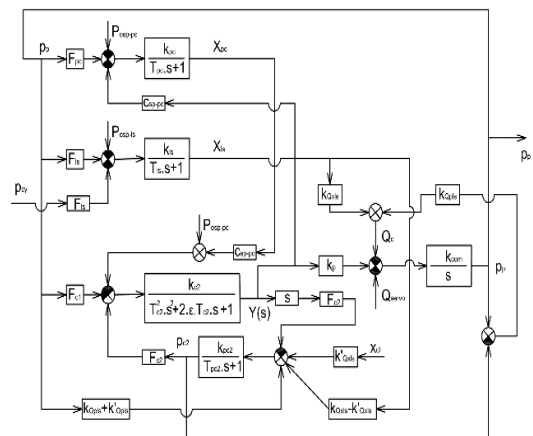
Hình 3. Đồ thị áp suất và vận tốc tiếp xúc bơm yêu cầu

2. Mô hình động lực học Cơ cấu kẹp bom - hệ thống dẫn động

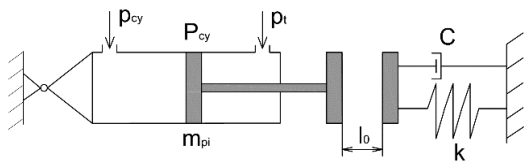
Khi tính toán, mô phỏng động lực học cơ cấu kẹp bom và hệ thống dẫn động cần đưa các giả thiết sau:

- Hệ số lưu lượng tại các cửa công tác của van là không đổi;
- Khối lượng pít tông servo của bơm được coi là nhỏ so với các thành phần lực dẫn động, có thể bỏ qua;
- Rò rỉ dầu qua các khe hở hướng kính của con trượt van phân phối và xi lanh công tác được bỏ qua;
- Áp suất đường dầu hồi không đổi và coi như bằng không;
- Khối lượng tay kẹp bom coi như không đáng kể, khi chưa tiếp xúc bom, xi lanh chạy không tải;
- Lớp giảm chấn của tay kẹp bom được coi như một cơ cấu có tính đàn nhớt.

Theo [7], [8] đã xây dựng hoàn chỉnh mô hình động lực học bơm chính, được thể hiện trên Hình 4.

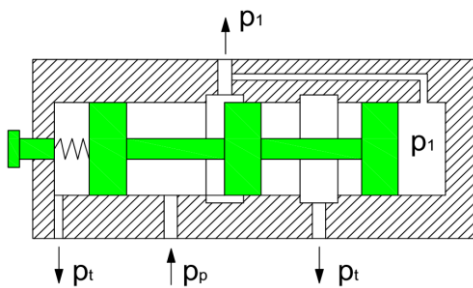


Hình 4. Sơ đồ tính toán bơm pít tông hướng trục đĩa nghiêng điều khiển LS-PC phản hồi cơ khí



Hình 5. Mô hình tính toán cơ cấu kẹp bom và xi lanh dẫn động

Mô hình tính toán quá trình kẹp bom được chia thành 2 giai đoạn: Giai đoạn chưa tiếp xúc và giai đoạn tiếp xúc. Ở giai đoạn đầu xi lanh chạy không tải và áp suất chỉ bắt đầu tăng dần ở giai đoạn tiếp xúc và tiến dần đến giá trị cài đặt.



Hình 6. Mô hình tính toán van giảm áp

Theo [1], phương trình động lực học cơ cấu kẹp bom ở dạng Laplace như sau:

$$F_{cy} \cdot p_{cy}(s) - (m_{pi} \cdot s^2 + k_{fri-cy} \cdot s) \cdot y_{pi}(s) = P_{lo} \quad (1)$$

Trong đó: m_{pi} - Khối lượng pittông; k_{fri-cy} - Hệ số ma sát trong xi lanh; P_{lo} - Tải trọng tác dụng lên đầu cán xi lanh.

Tải trọng P_{lo} được tính như sau:

$$P_{lo} = \begin{cases} k \cdot (y_{pi} - y_0) + C \cdot \dot{y}_{pi} & \text{khi } y_{pi} \geq y_0 \\ 0 & \text{khi } y_{pi} < y_0 \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình lưu lượng đi qua van giảm áp có dạng sau:

$$Q_{re} = k_{Qx} \cdot x_{re} + k_{Qp} \cdot (p_p - p_1) \quad (3)$$

Trong đó: k_{Qx}, k_{Qp} - Các hệ số tuyến tính hóa; p_p

- Áp suất bơm chính; p_1 - Áp suất sau van giảm áp.

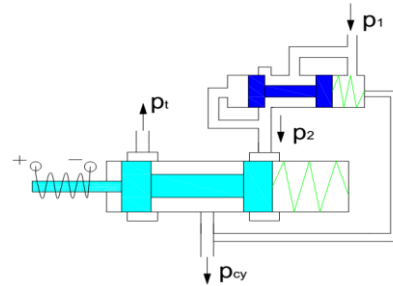
Phương trình dịch chuyển của con trượt van giảm áp (bỏ qua khối lượng con trượt van):

$$p_1 \cdot A = k \cdot x_{re} \quad (4)$$

Trong đó: A - Tiết diện tác dụng của áp suất điều

khiển; k - Độ cứng lò xo van.

Mô hình toán van phân phối tỷ lệ được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Mô hình tính toán van phân phối tỷ lệ

Phương trình lưu lượng và dịch chuyển của con trượt van bù áp được biểu diễn dưới dạng sau:

$$Q_{com} = k_{Qx1} \cdot x_{com} + k_{Qp1} \cdot (p_1 - p_2) \quad (5)$$

$$p_2 \cdot A_{com} = p_{cy} \cdot A_{com} + k_{com} \cdot x_{com} \quad (6)$$

Trong đó: k_{Qx1}, k_{Qp1} - Các hệ số tuyến tính hóa;

p_2 - Áp suất sau van bù áp; A_{com} - Tiết diện tác dụng

của áp suất điều khiển; k_{com} - Độ cứng lò xo van bù áp.

Lực quán tính, cũng như khối lượng của con trượt là nhỏ, có thể bỏ qua, khi đó lực đàn hồi của lò xo van tỷ lệ cân bằng với lực điện từ, tức là:

$$k_v \cdot x_v = k_i \cdot i \quad (7)$$

Trong đó: i - Cường độ dòng điện trong cuộn dây điều khiển; k_i - Hệ số sức điện động; k_v - Độ cứng lò xo van tỷ lệ; x_v - Dịch chuyển con trượt van.

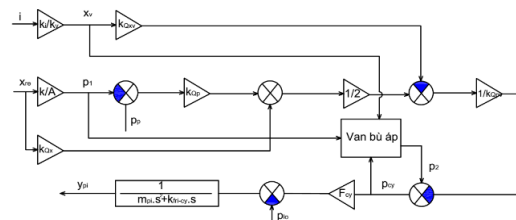
Lưu lượng qua van tỷ lệ được xác định như sau:

$$Q_v = k_{Qxv} \cdot x_v + k_{Qpv} \cdot (p_2 - p_{cy}) \quad (8)$$

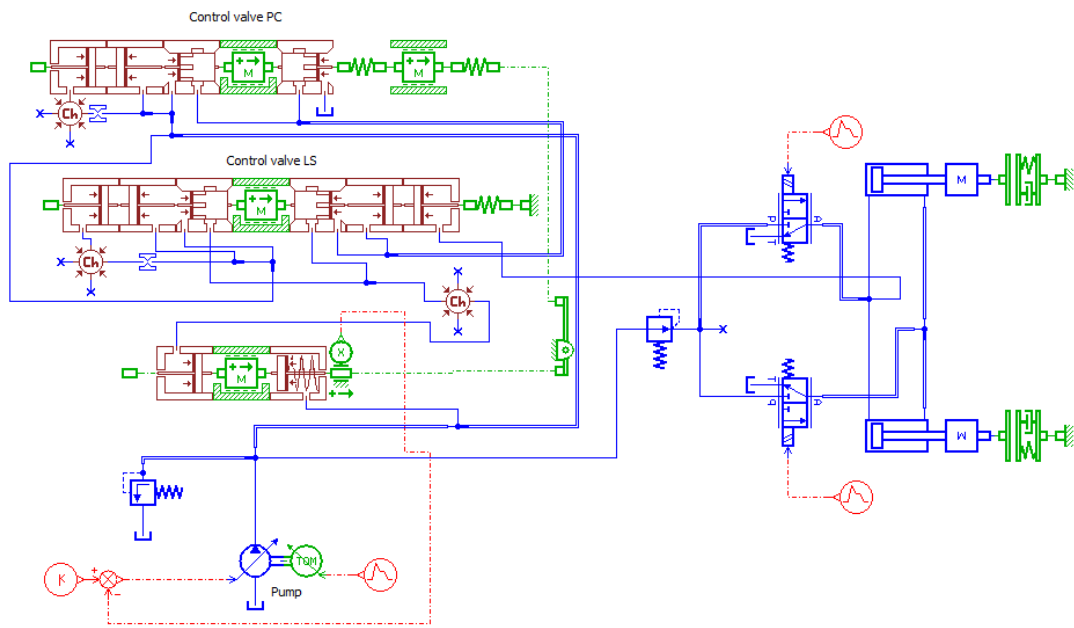
Lưu lượng qua van bù áp và van phân phối tỷ lệ bằng nhau, đồng thời bằng một nửa lưu lượng qua van giảm từ phương trình (3), (5), (8) ta có:

$$k_{Qx1} \cdot x_{com} + k_{Qp1} \cdot (p_1 - p_2) = k_{Qxv} \cdot x_v + k_{Qpv} \cdot (p_2 - p_{cy}) \quad (9)$$

$$\frac{1}{2} (k_{Qx} \cdot x_{re} + k_{Qp} \cdot (p_p - p_1)) = k_{Qxv} \cdot x_v + k_{Qpv} \cdot (p_2 - p_{cy}) \quad (10)$$



Hình 8. Sơ đồ tính toán cơ cấu kẹp bom và dẫn động điều khiển



Hình 9. Chương trình mô phỏng tính toán trong LMS Amesim

3. Khảo sát ảnh hưởng của các thông số đến điều khiển quá trình kẹp bom

Để khảo sát quá trình kẹp bom sử dụng phần mềm LMS Amesim của hãng Siemens, là một phần mềm được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong nghiên cứu các hệ thống cơ - điện - điều khiển phức tạp.

Các thông số ban đầu [1, 8, 10]:

Bơm LS-PC: Tốc độ vòng quay 1000v/ph, lưu lượng riêng 95cc/v; Đường kính pít tổng servo chia theo tỷ lệ 1:2 tương ứng 20:40 (mm); Đường kính con trượt van LS, PC: 10mm.

Van an toàn tổng: Áp suất cài đặt 350bar, lưu lượng lớn nhất 250l/ph.

Van giảm áp: Áp suất cài đặt đầu ra $p_1 = 80bar$; Lưu lượng lớn nhất qua van $Q_{re} = 38l/ph$.

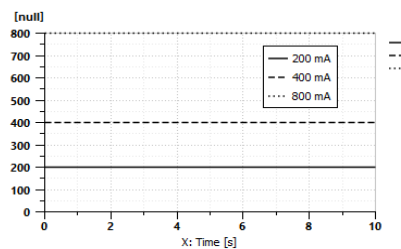
Van tỷ lệ: Dòng điện điều khiển $i_{max} = 800mA$; Áp suất làm việc lớn nhất $p_{max} = 350bar$; Lưu lượng lớn nhất qua van $Q_{max} = 23l/ph$.

Xi lanh kẹp bom: Đường kính pít tổng $D_{ev}=60mm$; Đường kính cán pít tổng $d_{ev} = 40mm$; Hành trình xi lanh $s = 320mm$.

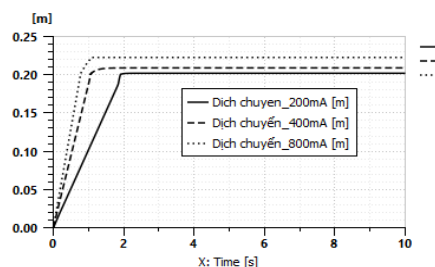
Khoảng cách dịch chuyển không tải $l_0 = 200mm$. Tính toán khi gấp quả bom lớn nhất MK-84 có trọng lượng 907kg, áp suất kẹp cần thiết được tính toán là xấp xỉ 80bar.

Theo các Hình 10, 11, 12, khi tín hiệu điều khiển van phân phối tỷ lệ thay đổi ở các mức 200, 400, 800 mA, các quy luật thay đổi của dịch chuyển, vận tốc

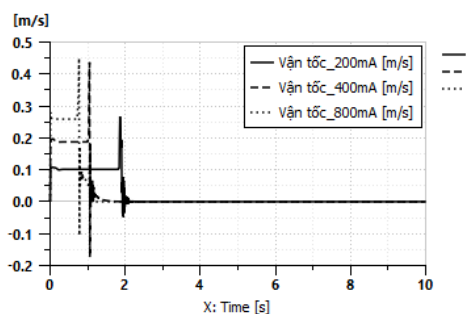
của xi lanh kẹp khác nhau. Kết hợp với Hình 13, có thể nhận thấy, ở các tín hiệu điều khiển nhỏ 200, 400 mA, xi lanh chỉ di chuyển được các đoạn ngắn và áp suất kẹp không đạt yêu cầu. Chỉ ở mức tín hiệu 800mA, giá trị áp suất kẹp mới đạt yêu cầu đặt ra. Điều này có thể giải thích được, khi tín hiệu điều khiển nhỏ, sự hình thành áp suất trong khoang pít tổng xi lanh kẹp làm cho dòng dầu có xu hướng hồi về thùng qua cửa T và áp suất kẹp không thể tăng đến giá trị yêu cầu.



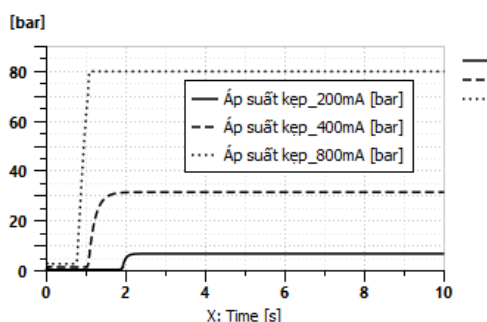
Hình 10. Tín hiệu điều khiển van giảm áp



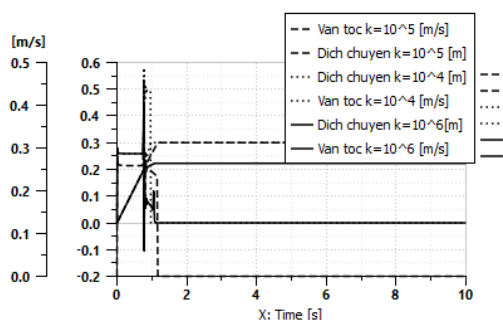
Hình 11. Dịch chuyển của xi lanh kẹp ở các dòng điện điều khiển khác nhau



Hình 12. Vận tốc của xi lanh kẹp ở các dòng điện điều khiển khác nhau



Hình 13. Áp suất kẹp bom ở các dòng điện điều khiển khác nhau



Hình 14. Dịch chuyển, vận tốc của xi lanh kẹp khi thay đổi hệ số đàn hồi

Theo Hình 14, với hệ số đàn hồi của lớp giảm chấn khác nhau, dịch chuyển, vận tốc có sự thay đổi rõ rệt. Với độ cứng $k = 10^4 \div 10^5 N/m$, sau khi tiếp xúc, xi lanh còn tiếp tục di chuyển một đoạn khá dài 10cm, còn với độ cứng $k = 10^6 N/m$, độ dịch chuyển thêm của xi lanh chỉ còn 2cm và theo Hình 13 không có xung áp suất xảy ra.

4. Kết luận

Qua các phân tích động lực học ở trên chỉ ra rằng:
 - Việc sử dụng van giảm áp kết hợp van tỷ lệ đem lại kết quả phù hợp với yêu cầu đặt ra về áp suất kẹp và tốc độ tiếp xúc bom. Tuy nhiên, tín hiệu điều khiển cần đảm bảo yếu tố, khi chưa tiếp xúc bom, điều khiển ở mức tín hiệu thấp, khi bắt đầu tiếp xúc cần điều khiển ở mức tín hiệu cao nhất nhằm đảm bảo khả năng

đạt được áp suất điều khiển cần thiết.

- Việc lắp đặt lớp giảm chấn cần lựa chọn độ cứng phù hợp, theo nghiên cứu thì với độ cứng $k=10^6 N/m$ đáp ứng tốt yêu cầu đặt ra.

- So với phương án sử dụng van servo kết hợp cảm biến áp suất [1], ngoài việc giá thành rẻ hơn thì việc sử dụng van giảm áp kết hợp van tỷ lệ không có sự hình thành các xung áp suất trong quá trình kẹp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Duy Đạt, Chu Văn Đạt, Lê Văn Sỹ, *Sử dụng van servo trong quá trình điều khiển chính xác lực kẹp bom của máy đào gấp bom điều khiển từ xa*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, (Số đặc biệt 10/2020), tr.47-54, 2020.
- [2] Trần Quang Hùng, Đỗ Doãn Phi, Lê Trọng Cường, Trần Hữu Lý, *Truyền động thủy lực trên Xe máy Công binh*, Học viện kỹ thuật Quân sự, 2013.
- [3] Bùi Hải Triều, Nguyễn Đình Tùng, *Truyền động và điều khiển thủy lực ứng dụng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2017.
- [4] Trần Xuân Tuyền, Trần Minh Chính, Trần Ngọc Hải, *Hệ thống truyền động thủy khí*, Đà Nẵng, 2005.
- [5] Попов Д.Н., *Динамика и регулирование гидро-и пневмосистем*, Машиностроение, 1987.
- [6] А. Г. Гимадиев, *LMS Imagine.lab Amesim Как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах*, Самара, 2014.
- [7] Dat Nguyen Duy, Dat Chu Van, Sy Le Van, *Modelling and simulation of the hydraulic system on EODM machine*, The Second International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable Development, 2020.
- [8] Dat Nguyen Duy, Dat Chu Van, Sy Le Van, *Dynamic analysis and simulation of the hydraulic control system on the remote-controlled explosive ordnance disposal machine*, The international journal of manufacturing, materials, and mechanical engineering (IJMMME), 1/2021.
- [9] Nicolae Vaseliu, Radu Puhalschi, *Simulation of fluid power systems with Simcenter Amesim*, Siemens - Germany, 2018.
- [10] Shop manual Komatsu PC120, 130-6.

Ngày nhận bài:	29/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	09/8/2021
Ngày duyệt đăng:	15/8/2021