

MÔ HÌNH KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG THỦY CƠ TRÊN MÁY TỰ HÀNH**Đặng Đức Thuận^{1*}, Bùi Việt Đức², Nguyễn Ngọc Quế²**¹*Đại học Công nghệ Giao thông vận tải*²*Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam***Tác giả liên hệ: bvdudc@vnua.edu.vn*

Ngày nhận bài: 04.05.2019

Ngày chấp nhận đăng: 17.07.2019

TÓM TẮT

Nghiên cứu này phát triển mô hình động lực học mô phỏng trạng thái làm việc của hệ thống truyền lực trên máy tự hành sử dụng hệ truyền động thủy tĩnh với hộp số cơ khí. Mô hình được xây dựng trên cơ sở các công thức, phương trình động lực học cho các phần tử từ động cơ đến bộ phận di động của máy tự hành hai bánh chủ động, sử dụng các cấu trúc dạng mô đun của phần mềm Sim-Hydraulic và Sim-Mechanic trong môi trường MATLAB/Simulink. Việc khảo sát mô hình được thực hiện với thông số đầu vào được xác định từ thực nghiệm trong một số điều kiện làm việc đặc trưng của máy tự hành. Các kết quả khảo sát được so sánh với thực nghiệm để đánh giá, kiểm chứng mô hình mô phỏng.

Từ khóa: Máy tự hành đa năng, truyền động thủy lực - cơ khí, trạng thái động lực học.

Dynamics Investigation of Hydromechanical Transmission on Self-Propelled Machine**ABSTRACT**

This study develops the dynamic model that describe the behavior of a transmission system on self-propelled machine utilizing a hydrostatic transmission with a mechanical gearbox. The model is built on the basis of formulas, dynamic equations for elements from the engine to the wheel drive of the self-propelled machine and using the modular structures of Sim-Hydraulic and Sim-Mechanic software in MATLAB/Simulink environments. The model survey was carried out with input parameters determined from experiment in some typical operating conditions of self-propelled machine. The survey results are compared with experimental data to evaluate and verify the simulation model.

Keywords: Self-propelled machine, hydromechanical transmission, dynamics behavior.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, truyền động cơ khí và thủy lực được ứng dụng phổ biến trong hệ thống truyền lực của máy tự hành đa chức năng với nhiều dạng kết hợp khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu và điều kiện sử dụng. Hộp số thủy lực - cơ khí (HSTC) tích hợp trong hệ thống truyền lực của máy tự hành có thể cải thiện các tính năng như mở rộng phạm vi và thay đổi vô cấp tỷ số truyền, giảm thiểu các hạn chế của truyền động cơ khí, đơn giản hóa các điều kiện vận hành, nâng cao hiệu quả sử dụng máy tự hành đa năng (Renius, 2004). Tuy nhiên đây là hình thức truyền động

phức tạp do có sự kết hợp của nhiều dạng truyền động có tính chất làm việc khác biệt, cần thiết phải thực hiện xây dựng mô hình động lực học hệ thống truyền động thủy lực cơ khí, để có thể sử dụng trong khảo sát mô phỏng trạng thái, tính chất hoạt động, thay thế cho hệ thống máy thực có kết cấu và điều kiện làm việc phức tạp, nhằm rút ngắn thời gian và giảm thiểu chi phí cho nghiên cứu ứng dụng phát triển hệ thống truyền động kết hợp thủy lực cơ khí cho nhiều loại máy, thiết bị công tác có tính năng khác nhau, hình thành các cơ sở khoa học trong tính toán thiết kế, chế tạo sản xuất và khai thác sử dụng hiệu quả hệ thống máy.

Nội dung của bài báo chủ yếu tập trung cho việc khảo sát, phân tích tính chất động lực học của mô hình máy tự hành sử dụng HSTC trong một số điều kiện làm việc đặc trưng, các kết quả mô phỏng được so sánh kiểm chứng qua kết quả đo đạc thực nghiệm nhằm xác định sai số và đánh giá tính đúng đắn của mô hình mô phỏng.

2. MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng để thực hiện các nội dung công việc gồm kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết tính toán xây dựng mô hình mô phỏng và thực nghiệm đo đạc xác định thông số, kiểm chứng kết quả khảo sát mô hình lý thuyết.

Mô hình động lực học hệ thống truyền lực máy tự hành xây dựng trên cơ sở các quan hệ vật lý, toán học giữa các phần tử trong hệ thống máy bao gồm từ động cơ đốt trong, hệ thống truyền động thủy lực, hệ thống truyền động cơ khí, hệ thống di động, được sử dụng để khảo sát một số

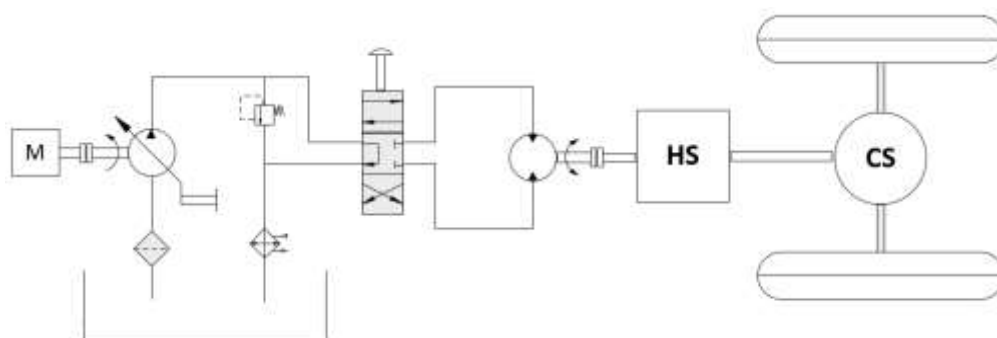
trạng thái hoạt động của hệ thống máy dưới tác động ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu và điều kiện sử dụng. Các phần tử trong hệ thống máy được tính toán thông số kỹ thuật, lựa chọn kết cấu và thiết kế cấu hình như hình 2. Hộp số thủy cơ sử dụng giải pháp nối tiếp giữa truyền động thủy lực và truyền động cơ khí có kết cấu đơn giản, phạm vi thay đổi tỷ số truyền lớn, linh hoạt và có thể ứng dụng phù hợp cho việc cải tiến các loại máy tự hành sử dụng hộp số cơ khí.

Mô hình tính toán mô phỏng được xây dựng trên cơ sở các thông số kỹ thuật được tính toán, đo đạc của các phần tử từ động cơ đốt trong đến bộ phận di động trong hệ thống truyền lực của xe tự hành, với các giả thiết các chi tiết truyền động cơ khí như trục, bánh răng là tuyệt đối cứng, bỏ qua hao tổn do rò rỉ trong các phần tử thủy lực và nhiệt độ dầu thủy lực không thay đổi trong các trường hợp khảo sát.

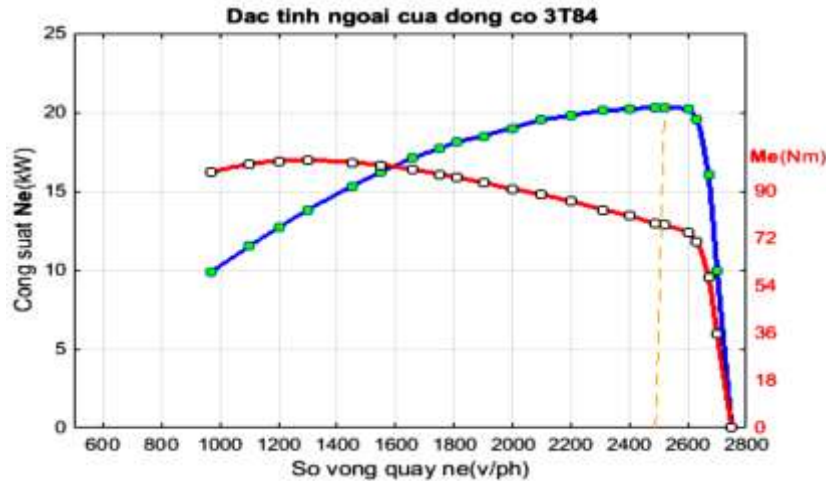
Công việc tính toán khảo sát được sự trợ giúp của các phần mềm Sim Hydraulic, Sim Mechanic trong Matlab-Simulink.



Hình 1. Hộp số thủy lực cơ khí (HSTC) trên các loại máy kéo, máy tự hành



Hình 2. Mô hình xe tự hành sử dụng hệ thống truyền động thủy lực cơ khí



Nguồn: Đặng Đức Thuận & cs., 2017

Hình 3. Đặc tính động cơ diesel 3T84

+ Phần tử động cơ: sử dụng nhiên liệu diesel, công suất 30 Hp, có các đặc tính được xây dựng từ kết quả đo đạc thực nghiệm.

Động cơ đốt trong được kết nối và truyền động trực tiếp cho bơm dầu, với giả thiết trực truyền động từ động cơ đến bơm dầu tuyệt đối cứng, quá trình làm việc của động cơ đốt trong và bơm được mô tả theo phương trình:

$$(J_d + J_b + J_{b1})\dot{\omega} = M_d - M_{ms} - M_b - M_{b1}$$

$$M_{ms} = \mu_b \omega_b + K_p \text{sign}(\omega_b)$$

+ Phần tử bơm thủy lực: Phương trình động lực học của bơm thủy lực áp suất cao được xây dựng dựa trên luật cân bằng khối lượng dưới đây:

$$Q_b = \alpha D_b \omega_b \eta_{vb}$$

$$M_p = \frac{D_p \Delta_p}{\eta_p}$$

+ Áp suất dầu trong ống dẫn thủy lực:

$$\dot{p} = \frac{1}{\beta V_b} [Q_b - \dot{V}_f - Q_m]$$

+ Phần tử bình tích áp: Là bộ phận có vai trò ổn định hoạt động cho các thiết bị thừa hành, giả thiết dòng chất lỏng vào và ra khỏi bình tích áp trong thời gian ngắn, không có sự trao đổi nhiệt của khí nén, mối quan hệ phi tuyến giữa áp suất và thể tích chất lỏng trong bình được tính toán theo công thức:

$$P_a = \frac{p_0 V_0^\gamma}{(V_0 - V_f)^\gamma}$$

p_0, V_0 : áp suất và thể tích ban đầu của bình tích áp, $\dot{V}_f$: lưu lượng dầu qua bình tích áp

$$\dot{V}_f = Q_i - Q_e$$

+ Phần tử van chặn (van một chiều): Van chặn được sử dụng để kiểm soát hướng chuyển động của chất lỏng, có thể coi là yếu tố cản trở gây giảm áp khi chất lỏng chảy qua. Quan hệ áp suất và lưu lượng chất lỏng qua van trong trường hợp không có hao tổn áp suất được xác định theo công thức:

$$Q_v = C_v A_v \sqrt{\frac{2}{\rho} |p| \text{sign}(p)}$$

+ Phần tử động cơ thủy lực: Động cơ thủy lực là thiết bị biến đổi năng lượng thủy lực sang cơ khí, động cơ thủy lực hoạt động trên cơ sở chênh lệch áp suất giữa bình tích áp và mạch thấp áp sau động cơ thủy lực.

$$Q_m = \frac{\omega_m D_m}{\eta_m}$$

$$M_m = D_m \Delta_p \eta_m$$

$$\Delta_p = p - p_r$$

+ Phần tử hộp số cơ khí: Bao gồm các bộ phận hộp giảm tốc, truyền lực chính, vi sai và truyền lực cuối cùng, tham gia vào hệ thống

truyền lực với chức năng giảm tốc độ, tăng mô men và chuyển hướng chuyển động quay từ động cơ xuống bánh xe chủ động. Trong mô hình tính toán khảo sát, đặc trưng cho phân tử hộp số cơ khí là tỷ số truyền chung cho tất cả các bộ phận.

$$i_{tl} = i_{gt} i_{t1c} i_{t2c}$$

+ Mô hình bánh xe

Là thành phần có tính chất làm việc phức tạp, tương tác trực tiếp với mặt nền, tạo ra chuyển động và lực kéo của xe (Hình 5).

Quan hệ bánh xe và mặt nền rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong nghiên cứu này sử dụng mô hình Burckhardt để tính toán đặc tính trượt của bánh xe khi di chuyển.

$$\mu_x = c_1 \left(1 - e^{-c_2 s_x} \right) - c_3 s_x$$

Trong đó, μ_x là hệ số trượt dọc của bánh xe; s_x là độ trượt bánh xe; c_1 , c_2 , c_3 là các tham số xác định từ thực nghiệm cho các tính chất bề mặt tiếp xúc khác nhau của mặt nền với bánh xe. Trong trường hợp thực nghiệm trên đường bê tông khô $c_1 = 1,1973$, $c_2 = 25,168$, $c_3 = 0,5373$ (Kiencke & Nielsen, 2015).

+ Mô hình máy tự hành

Phương trình vi phân chuyển động của hệ thống máy khi di chuyển và làm việc:

$$\left(J_m i_{tl} + J_{bx} \right) \dot{\omega}_{bx} = M_m i_{tl} - F_x r_{bx} - F_z f_r$$

Hệ số cản lăn f_r được xác định theo công thức:

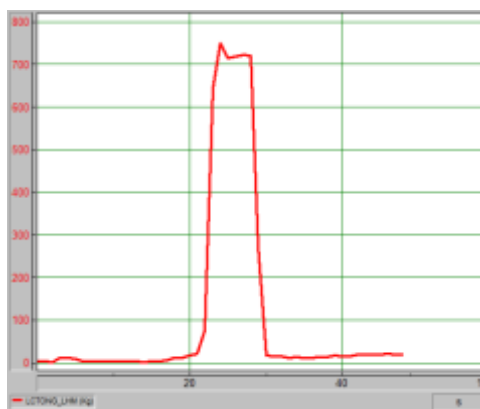
$$f_r = \frac{e_w}{r_{bx}}$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình động lực học được sử dụng để khảo sát trạng thái làm việc của hệ thống truyền động thủy lực - cơ khí trên máy tự hành khi chịu tác động của các yếu tố kết cấu và điều kiện làm việc. Trong trường hợp cụ thể là máy liên hợp với bộ phận công tác xúc lật, di chuyển và thực hiện công việc xúc nạp tải vật liệu cát, với giả thiết máy chuyển động thẳng, tốc độ ổn định trước khi thực hiện công việc, bơm thủy lực hoạt động ở chế độ cung cấp lưu lượng lớn nhất. Hình thức làm việc đặc trưng cho các loại máy xúc lật tạo ra lực cản tại bộ phận công tác, được xác định bằng đo đạc thực nghiệm, có đặc tính theo thời gian trong hình 5.

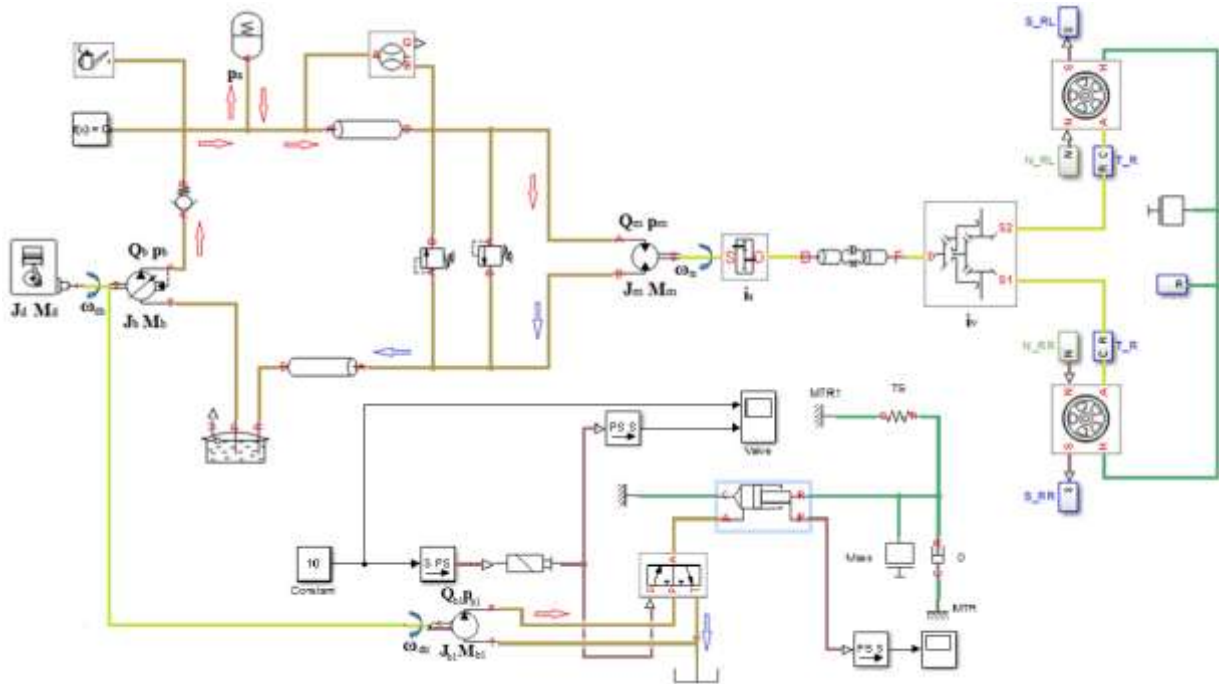


Hình 4. Mô hình bánh xe (Mikael Axin)



Nguồn: Đặng Đức Thuận & cs., 2017

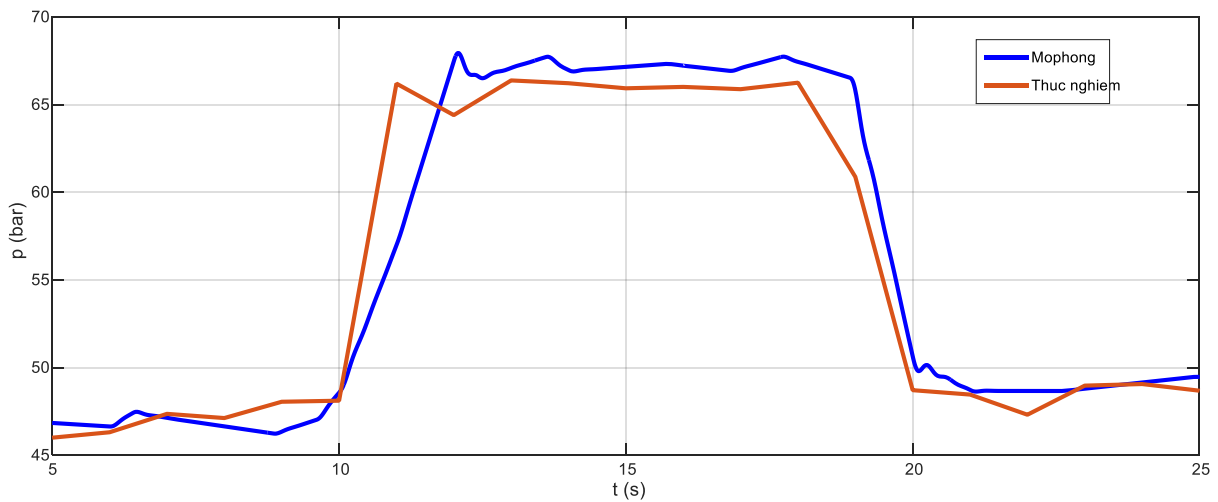
Hình 5. Lực cản bộ phận công tác



Hình 6. Mô hình mô phỏng hệ thống truyền lực máy tự hành

Bảng 1. Các thông số đầu vào của mô hình

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
D_b (cm ³ /vg)	67	J_M (kgm ²)	875	γ	1,4
D_{b1} (cm ³ /vg)	20	J_m (kgm ²)	0,24	ρ (kg/m ³)	900
D_m (cm ³ /vg)	80	J_{bx} (kgm ²)	1,25	u (cSt)	18
J_b (kgm ²)	0,32	r_{bx} (m)	0,6	k_P (Ns/m)	550
J_{b1} (kgm ²)	0,18	β	1,4e-9	k_m (Ns/m)	3.400
i_{il}	95	m_{mk} (kg)	1.250	c_v	0,65



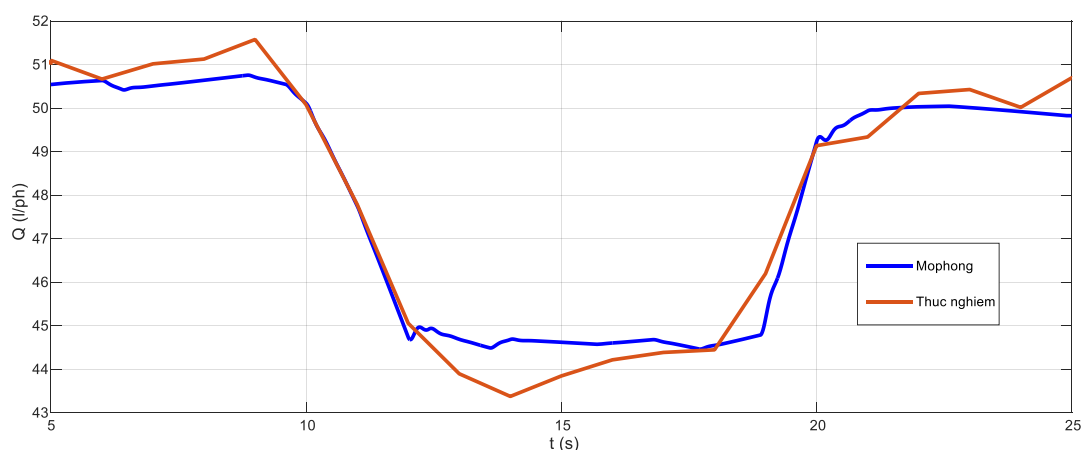
Hình 7. Đặc tính áp suất hệ thống truyền lực xe tự hành

Trong trường hợp khảo sát hoạt động của hệ thống truyền lực, lực cản trong quá trình di chuyển và thực hiện công việc xúc nạp tải được quy dẫn về bánh xe chủ động của máy kéo.

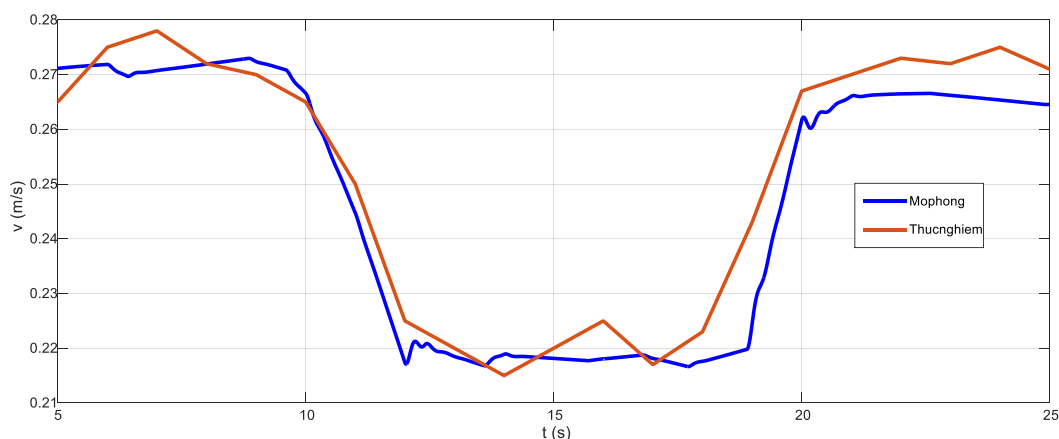
Đặc tính của hệ thống truyền lực được thể hiện qua các thông số áp suất, lưu lượng bơm, tốc độ, mô men động cơ thủy lực, gia tốc, tốc độ di chuyển máy, được biểu diễn theo các quan hệ đặc tính thay đổi theo thời gian bằng tính toán mô phỏng và đo đạc thực nghiệm.

Kết quả khảo sát trạng thái hoạt động của hệ thống truyền lực liên hợp máy xúc lật qua các thông số áp suất, lưu lượng của hệ thống truyền động thủy lực và tốc độ di chuyển của hệ thống máy trong trường hợp xe di chuyển và thực hiện công việc xúc, nạp tải. Các kết quả khảo sát được so sánh kiểm chứng với kết quả đo đạc thực nghiệm.

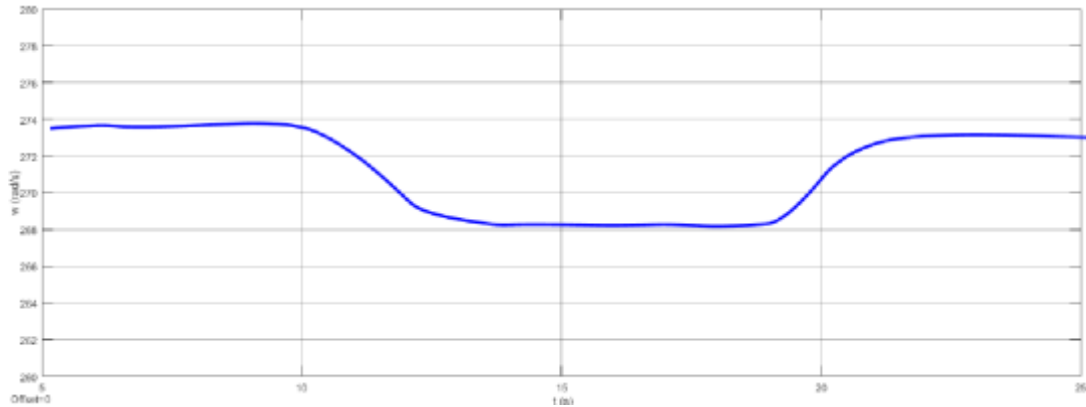
Kết quả khảo sát trạng thái hoạt động của hệ thống truyền động thủy lực - có khí trên liên hợp máy xúc lật thực hiện công việc xúc nạp tải khi di chuyển, thể hiện trong hình 7, 8 và 9 cho thấy sự thay đổi theo thời gian của các thông số lưu lượng, áp suất và tốc độ di chuyển của máy diễn ra đúng quy luật. Sai số lớn nhất giữa mô phỏng và thực nghiệm khoảng 1,5% với thông số áp suất, 2,5% với thông số lưu lượng và 4% với tốc độ di chuyển máy. Sự sai khác có thể được giải thích với việc bỏ qua sự rò rỉ và ảnh hưởng nhiệt độ của môi chất truyền động trong tính toán mô phỏng. Tốc độ quay của động cơ đốt trong (Hình 10) khá ổn định, sự thay đổi lớn nhất khi có tải là 6 rad/s (tốc độ trung bình là 274 rad/s) cho thấy vai trò của truyền động thủy lực trong hộp số thủy cơ, hoạt động như bộ phận điều hòa giúp cho động cơ có thể hoạt động ổn định khi làm việc trong điều kiện tải trọng thay đổi lớn.



Hình 8. Đặc tính lưu lượng hệ thống truyền lực xe tự hành



Hình 9. Tốc độ di chuyển của xe khi thực hiện công việc



Hình 10. Tốc độ quay của động cơ đốt trong

4. KẾT LUẬN

Mô hình động lực học hệ thống truyền động thủy lực cơ khí trên máy tự hành được xây dựng trên cơ sở hệ thống máy thực, có đầy đủ các phần tử từ động cơ, truyền động thủy lực, truyền động cơ khí, bộ phận di động, máy công tác với các thông số kỹ thuật được tính toán, đo đạc hoặc tham khảo lựa chọn từ nhà chế tạo. Mô hình tính toán mô phỏng được lập trình trên cơ sở phần mềm SimHydraulic và SimMechanic và khảo sát trong trường hợp liên hợp máy xúc lật thực hiện công việc xúc nạp tải khi di chuyển. Kết quả khảo sát đã phản ánh đúng quy luật vật lý, có sai số không lớn so với kết quả thực nghiệm, đã làm sáng tỏ thêm tính chất làm việc của hệ thống truyền động thủy lực cơ khí, cho phép sơ bộ đánh giá mô hình được xây dựng hợp lý, đáp ứng được các yêu cầu tính toán mô phỏng khảo sát quá trình làm việc, có thể thay

thế cho hệ thống máy thực trong nghiên cứu động lực học hệ thống truyền động thủy lực - cơ khí trên máy tự hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Renius K.Th. (2004). Hydrostatic transmission for mobile machines; Science portal of construction machine 1 (in German)
- Đặng Đức Thuận, Phạm Trọng Phước, Bùi Việt Đức, Đặng Tiên Hoà (2017). Nghiên cứu xác định đặc tính động cơ Diesel 3T84 bằng thực nghiệm qua trích công suất. Tạp chí Khoa học xây dựng. 11(4): 42-47.
- Mikael Axin (2015). Mobile Working Hydraulic System Dynamics. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations No. 1697.
- Kiencke U. & Nielsen L. (2015). Automotive Control Systems: For Engine, Driveline, and Vehicle. 2nd edition, Springer-Verlag, 512p. ISBN 3-540-23139-0.