

# XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MÁY SAN TRONG QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC

## CONSTRUCTION MODEL DYNAMICS OF GRADERS DURING WORK

Chu Văn Đạt, Đào Mạnh Quyền,  
Bùi Văn Hải

### TÓM TẮT

Nghiên cứu nâng cao năng suất của máy và độ phẳng của bề mặt đường sau san là nhu cầu cấp thiết hiện nay. Để đáp ứng được nhu cầu đó cần xây dựng được mô hình động lực học của máy san trong quá trình làm việc, thiết lập được hệ phương trình toán học. Sau đó sử dụng các phần mềm chuyên dùng để tính toán giải hệ phương trình, khảo sát động lực học của máy san khi làm việc. Từ đó hướng tới việc đề xuất chế độ làm việc hợp lý nhằm nâng cao năng suất của máy và độ phẳng của bề mặt đường sau khi san. Nội dung bài báo sẽ xây dựng mô hình động lực học của máy san trong quá trình làm việc.

**Từ khóa:** Mô hình động lực học, máy san, chất lượng.

### ABSTRACT

Improve the quality of research work of the grader in the process of working is now an urgent need. To do that we need to build mathematical equations, built models of graders dynamics in the work process. Then use specialized software to calculate equations, survey graders dynamics when working. Since then propose the appropriate input parameters of the grader when working to improve the quality and efficiency of the process of leveling.

**Keywords:** Model dynamics, grader, quality.

Chu Văn Đạt, Đào Mạnh Quyền

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Bùi Văn Hải

Trường Đại học công nghiệp Hà Nội

Email: haihang08@gmail.com

Ngày nhận bài: 03/08/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/09/2017

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2017

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình làm việc của các máy san ủi luôn là các quá trình động lực học phức tạp, các tải trọng động biến đổi trong phạm vi rộng gây ảnh hưởng lớn đến quá trình điều khiển, chất lượng công việc và độ bền của các chi tiết. Do đó việc nghiên cứu các tính chất động lực học của các máy san ủi nhằm hạn chế những ảnh hưởng xấu đến quá trình khai thác máy là một vấn đề rất cần thiết. Ở các nước có nền công nghiệp phát triển, vấn đề này đã được giải quyết ở mức độ cao, các kết quả nghiên cứu đã góp phần quan

trọng trong thiết kế, chế tạo và khai thác có hiệu quả các loại máy san ủi [1, 2]. Tuy nhiên, ở Việt Nam, vấn đề này còn mang tính thời sự cao.

Để nâng cao năng suất của máy và độ phẳng của bề mặt đường sau khi san cần nghiên cứu động lực học của máy, khảo sát các thông số động lực học của máy trong quá trình làm việc như: chiều sâu cắt, góc cắt, vận tốc cắt... Để làm được việc đó cần xây dựng hệ phương trình toán học, mô hình động lực học của máy. Sau đó sử dụng các phần mềm chuyên dùng để tính toán, khảo sát động lực học khi máy làm việc giúp đề xuất chế độ làm việc hợp lý của máy nhằm nâng cao năng suất và độ phẳng của bề mặt đường sau khi san.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MÁY SAN TRONG QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC

### 2.1. Xây dựng mô hình động lực học của máy san trong quá trình làm việc

Để xây dựng được mô hình động lực học của máy san trong quá trình làm việc cần đưa ra các giả thiết cơ bản, lựa chọn tọa độ suy rộng và các phương trình liên kết. Các giả thiết cơ bản như sau: Mặt đất trong quá trình làm việc có dạng mấp mô ngẫu nhiên và được xác định từ thực nghiệm, bỏ qua các nguồn kích thích dao động trên máy, bỏ qua ảnh hưởng của sự trượt của các bánh xe, bỏ qua lực cản không khí do máy di chuyển với tốc độ thấp, coi trong quá trình làm việc các lớp của máy san luôn tiếp xúc với mặt đất và là tiếp xúc điểm, giả thiết máy luôn chuyển động thẳng trong quá trình làm việc.

Đối tượng lựa chọn nghiên cứu là máy san DZ - 122. Mô hình nghiên cứu ta lựa chọn gồm có 5 khâu, khâu 1 là nền đất, khâu 2 là cầu sau, khâu 3 là khung vỏ và cabin, khâu 4 là cơ cấu lưỡi san, khâu 5 là cầu trước (hình 2). Trong đó  $m_0, m_1, m_2, m_3$  lần lượt là khối lượng của khung máy, cầu sau, cầu trước và cơ cấu công tác;  $c_{rd}, b_{rd}$  tương ứng là hệ số đàn hồi và hệ số cản nhớt tương đương của lốp và nền đất (được xác định bằng thực nghiệm);  $P_k; P_c$  tương ứng là lực kéo, lực cản di chuyển của máy san được tính toán theo [3];  $P_d$  là tổng lực cản cắt đất được xác định theo [4].

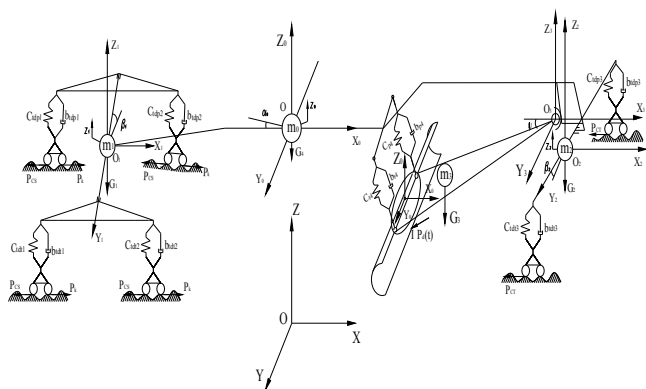
Mặt đất trong quá trình làm việc có dạng mấp mô ngẫu nhiên và được xác định từ thực nghiệm (hình 1). Căn cứ vào

giá trị có được từ thực nghiệm và dựa vào phần mềm Matlab sẽ xây dựng được biên dạng mấp mô ngẫu nhiên của mặt đường thành một hàm thay đổi theo thời gian. Đây là dữ liệu để giải hệ phương trình vi phân ở phần sau.



Hình 1. Mấp mô dạng ngẫu nhiên của mặt đường

Chọn hệ trục tọa độ Đề các Oxyz cố định gắn với mặt đất, gốc tọa độ trùng với vị trí ban đầu của trọng tâm máy san, trục Oz theo phương thẳng đứng, trục Ox theo phương dọc thân máy và trục Oy theo phương vuông góc với thân máy. Chọn hệ tọa độ suy rộng như sau:  $q_1 = x_0$  là dịch chuyển của trọng tâm máy san theo phương Ox;  $q_2 = z_0$  là dịch chuyển của trọng tâm thân máy theo phương thẳng đứng;  $q_3 = \alpha_0$  là góc lắc của thân máy trong mặt phẳng (xOz);  $q_4 = \beta_1$  là góc lắc của cầu sau trong mặt phẳng (yOz);  $q_5 = \beta_2$  là góc lắc của cầu trước trong mặt phẳng (yOz);  $q_6 = \psi$  xác định vị trí của lưỡi san so với thân máy.



Hình 2. Mô hình dao động của máy san trong không gian

Với giả thiết máy san dao động quanh vị trí cân bằng tĩnh trong quá trình làm việc, các góc lắc ngang và lắc dọc của thân máy rất nhỏ coi gần đúng:  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1$ ,  $\sin \beta \approx \beta$ ,  $\cos \beta \approx 1$ . Gọi  $l_{03}$  là khoảng cách từ trọng tâm của  $m_0$  đến khớp cầu  $O_3$  tính theo phương trục x. Khi đó cơ hệ có một số phương trình liên kết như sau

$$\begin{aligned} z_1 &= q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}; & z_2 &= q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20} \\ \delta_{1t} &= \delta_{2t} = q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10} + \frac{b_s}{2} \cdot q_4; \\ \delta_{1p} &= \delta_{2p} = q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10} - \frac{b_s}{2} \cdot q_4 \\ \delta_{3t} &= q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20} + \frac{b_t}{2} \cdot q_5; & \delta_{3p} &= q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20} - \frac{b_t}{2} \cdot q_5 \\ x_{O_3} &= q_1 + l_{03}; & z_{O_3} &= q_2 - l_{03} \cdot q_3 - h_{03} \\ x_{l_5} &= q_1 + l_{03} - l_{33} \cos q_6; & z_{l_5} &= q_2 - l_{03} \cdot q_3 - l_{33} \sin q_6 \\ x_l &= q_1 + l_{03} - l_{33} \cos q_6 - l_{3l}; & z_l &= q_2 - l_{03} \cdot q_3 - l_{33} \sin q_6 - h_{3l} \end{aligned} \quad (1)$$

**2.2. Thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của máy san trong quá trình làm việc**

Sử dụng phương trình Lagrang loại II để lập phương trình vi phân chuyển động cho hệ. Phương trình Lagrang loại II viết theo các tọa độ suy rộng có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_{q_i} \quad (2)$$

trong đó, T là hàm động năng của hệ;  $\Pi$  là hàm thế năng của hệ;  $\Phi$  là hàm hao tán của hệ;  $q_i$  là các tọa độ suy rộng ( $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ );  $Q_{q_i}$  là lực suy rộng của các lực không thế tác dụng lên cơ hệ. Sau khi tính toán thu được các kết quả như sau:

Biểu thức thế năng  $\Pi$  của cơ hệ bao gồm thế năng của trọng lực tác dụng lên các khâu và thế năng của lực đàn hồi, chọn gốc thế năng tại mặt đất ta có:

$$\begin{aligned} \Pi &= m_0 \cdot g \cdot q_2 + m_1 \cdot g \cdot (q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}) + m_2 \cdot g \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20}) \\ &+ m_3 \cdot g \cdot (q_2 - l_{03} \cdot q_3 - l_{33} \sin q_6) \\ &+ (c_{tđ1} + c_{tđ2}) \left[ (q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10})^2 + \left( \frac{b_s}{2} \cdot q_4 \right)^2 \right] \\ &+ c_{tđ3} \left[ (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20})^2 + \left( \frac{b_t}{2} \cdot q_5 \right)^2 \right] + c_{tđ4} \left[ l_{34}^2 \cdot \sin^2 q_6 \right. \\ &\left. + \left( \frac{b_{xl}}{2} \cdot q_4 \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Biểu thức động năng của cơ hệ như sau:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \dot{q}_2^2 \\ &+ \frac{1}{2} (J_{0y} + m_1 \cdot l_{10}^2 + m_2 \cdot l_{20}^2 + m_3 \cdot l_{03}^2) \cdot \dot{q}_3^2 \\ &+ \frac{1}{2} (J_{0x} + J_{1x} + J_{3x}) \dot{q}_4^2 \\ &+ \frac{1}{2} J_{2y} \dot{q}_5^2 + \frac{1}{2} m_3 \cdot l_{33}^2 \cdot \dot{q}_6^2 \\ &+ (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \dot{q}_2 \cdot \dot{q}_3 \\ &+ m_3 \left[ \dot{q}_1 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 \cdot \dot{q}_6 - \dot{q}_2 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos q_6 \right. \\ &\left. + l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_3 \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos q_6 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Biểu thức hàm hao tán:

$$\begin{aligned} \Phi &= (b_{tđ1} + b_{tđ2}) \left[ (\dot{q}_2 + l_{10} \cdot \dot{q}_3)^2 + \left( \frac{b_s}{2} \cdot \dot{q}_4 \right)^2 \right] \\ &+ b_{tđ3} \left[ (\dot{q}_2 - l_{20} \cdot \dot{q}_3)^2 + \left( \frac{b_t}{2} \cdot \dot{q}_5 \right)^2 \right] \\ &+ b_{tđ4} \left[ (l_{34} \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos q_6)^2 + \left( \frac{b_{xl}}{2} \cdot \dot{q}_4 \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Lực suy rộng tương ứng với các tọa độ suy rộng được tính như sau: Các lực không thế tác dụng lên cơ hệ bao gồm lực kéo  $P_K$ , lực cản di chuyển  $P_F$  và lực cản đào đất  $P_{dt}$  thay đổi theo thời gian. Tổng công ảo của các thành phần lực không thế xét trong một di chuyển khả dĩ của các khâu là:

$$\begin{aligned} \delta A &= 4 (P_K - P_{Fs}) \delta q_1 \\ &- (P_{dt}^x(t) \cdot \delta x_N + P_{dt}^z(t) \cdot \delta z_N + P_{dp}^x(t) \cdot \delta x_M + P_{dp}^z(t) \cdot \delta z_M) - 2 P_{Ft} \cdot \delta q_1 \end{aligned} \quad (6)$$

trong đó  $P_{dt}^x(t), P_{dt}^z(t)$  lần lượt là tổng lực cản cắt đất tác dụng lên nửa lưỡi san bên trái theo phương nằm ngang và thẳng đứng;  $P_{dp}^x(t), P_{dp}^z(t)$  lần lượt là tổng lực cản cắt đất tác

dụng lên nửa lưỡi san bên phải theo phương nằm ngang và thẳng đứng,  $P_K, P_{Ft}, P_{Fs}$  lần lượt là lực kéo tiếp tuyến tác dụng lên các bánh xe chủ động, lực cản tác dụng lên bánh trước và bánh sau.

Sau khi tính toán ta xác định được lực suy rộng tương ứng với các tọa độ suy rộng như sau:

$$\begin{cases} Q_{q_1} = 4(P_K - P_{Fs}) - P_{dt}^x(t) - P_{dp}^x(t) - 2P_{Ft} \\ Q_{q_2} = -(P_{dt}^z(t) + P_{dp}^z(t)); Q_{q_3} = [P_{dt}^z(t) + P_{dp}^z(t)] \cdot l_{03} \\ Q_{q_4} = -(P_{dt}^z(t) - P_{dp}^z(t)) \cdot \frac{B}{4}; Q_{q_5} = 0 \\ Q_{q_6} = - \begin{pmatrix} P_{dt}^x(t) \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 + P_{dp}^x(t) \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 \\ -P_{dt}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 - P_{dp}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \end{pmatrix} \end{cases} \quad (7)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_1$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} = (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \dot{q}_1 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6 \cdot \sin q_6 \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) = (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{q}_1 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \ddot{q}_6 \cdot \sin q_6 \\ \quad + m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \cos q_6 \\ \frac{\partial T}{\partial q_1} = 0; \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} = 0; \frac{\partial \Phi}{\partial q_1} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_2$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} = (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \dot{q}_2 + (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \cdot \dot{q}_3 \\ \quad - m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos q_6 \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} \right) = (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{q}_2 + (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \cdot \ddot{q}_3 \\ \quad - m_3 \cdot l_{33} \cdot \ddot{q}_6 \cdot \cos q_6 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 \\ \frac{\partial T}{\partial q_2} = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} = (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \cdot g + 2(c_{td1} + c_{td2})(q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}) \\ \quad + 2c_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20}) \\ \frac{\partial \Phi}{\partial q_2} = 2 \cdot (b_{td1} + b_{td2}) \cdot (q_2 + l_{10} \cdot q_3) + 2b_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3) \end{cases} \quad (9)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_3$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} = (J_{0y} + m_1 \cdot l_{10}^2 + m_2 \cdot l_{20}^2 + m_3 \cdot l_{03}^2) \dot{q}_3 \\ \quad + (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \dot{q}_2 \\ \quad + m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos q_6 \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} \right) = (J_{0y} + m_1 \cdot l_{10}^2 + m_2 \cdot l_{20}^2 + m_3 \cdot l_{03}^2) \ddot{q}_3 \\ \quad + (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \ddot{q}_2 \\ \quad + m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \ddot{q}_6 \cdot \cos q_6 - m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 \\ \frac{\partial T}{\partial q_3} = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_3} = (m_1 \cdot g \cdot l_{10} - m_2 \cdot g \cdot l_{20} - m_3 \cdot g \cdot l_{03}) \cdot q_3 \\ \quad + 2(c_{td1} + c_{td2})(q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}) \cdot l_{10} \\ \quad - 2c_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20}) \cdot l_{20} \\ \frac{\partial \Phi}{\partial q_3} = 2(b_{td1} + b_{td2}) \cdot (q_2 + l_{10} \cdot q_3) \cdot l_{10} \\ \quad - 2b_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3) \cdot l_{20} \end{cases} \quad (10)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_4$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_4} = (J_{0x} + J_{1x} + J_{3x}) \cdot \dot{q}_4 \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_4} \right) = (J_{0x} + J_{1x} + J_{3x}) \cdot \ddot{q}_4 \\ \frac{\partial T}{\partial q_4} = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_4} = \frac{1}{2} (c_{td1} + c_{td2}) \cdot b_s^2 \cdot q_4 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial q_4} = \frac{1}{2} (b_{td1} + b_{td2}) \cdot b_s^2 \cdot q_4 \end{cases} \quad (11)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_5$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_5} = J_{2x} \cdot \dot{q}_5; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_5} \right) = J_{2x} \cdot \ddot{q}_5 \\ \frac{\partial T}{\partial q_5} = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_5} = \frac{1}{2} c_{td3} \cdot b_t^2 \cdot q_5 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial q_5} = \frac{1}{2} b_{td3} \cdot b_t^2 \cdot q_5 \end{cases} \quad (12)$$

Tính toán các thành phần của hệ phương trình vi phân ứng với tọa độ suy rộng  $q_6$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_6} = m_3 \cdot l_{33}^2 \cdot \dot{q}_6 \\ \quad + m_3 \left[ \dot{q}_1 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 - \dot{q}_2 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \right] \\ \quad + l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_3 \cdot \cos q_6 \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_6} \right) = m_3 \cdot l_{33}^2 \cdot \ddot{q}_6 \\ \quad + m_3 \left[ \ddot{q}_1 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 + \dot{q}_1 \cdot \dot{q}_6 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \right. \\ \quad \left. - \ddot{q}_2 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 + \dot{q}_2 \cdot \dot{q}_6 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 \right. \\ \quad \left. + l_{03} \cdot l_{33} \cdot \ddot{q}_3 \cdot \cos q_6 \right. \\ \quad \left. - l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_3 \cdot \dot{q}_6 \cdot \sin q_6 \right] \\ \frac{\partial T}{\partial q_6} = m_3 \left[ \dot{q}_1 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \dot{q}_6^2 + \dot{q}_2 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 \right] \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_6} = -m_3 \cdot g \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial q_6} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

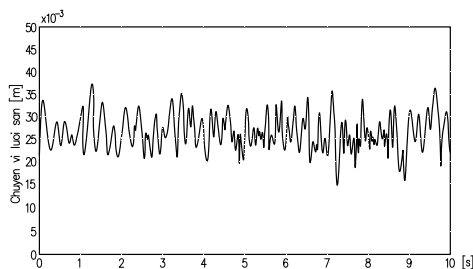
Sau khi biến đổi thu được hệ phương trình vi phân như sau:

$$\begin{aligned}
 & (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{q}_1 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 \cdot \ddot{q}_6 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \cos q_6 \\
 & = 4(P_k - P_{Fs}) - P_{dt}^x(t) - P_{dp}^x(t) - 2P_{Ft} \\
 & \dots\dots\dots \\
 & (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{q}_2 + (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \cdot \ddot{q}_3 \\
 & - m_3 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \ddot{q}_6 + m_3 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 + 2 \cdot (b_{td1} + b_{td2}) \cdot (\dot{q}_2 + l_{10} \cdot \dot{q}_3) \\
 & + 2b_{td3} \cdot (\dot{q}_2 - l_{20} \cdot \dot{q}_3) + (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \\
 & + 2(c_{td1} + c_{td2}) \cdot (q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}) + 2c_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20}) \\
 & = -(P_{dt}^z(t) + P_{dp}^z(t)) \\
 & \dots\dots\dots \\
 & (m_1 \cdot l_{10} - m_2 \cdot l_{20} - m_3 \cdot l_{03}) \ddot{q}_2 + (J_{0y} + m_1 \cdot l_{10}^2 + m_2 \cdot l_{20}^2 + m_3 \cdot l_{03}^2) \cdot \ddot{q}_3 \\
 & + m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \ddot{q}_6 - m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 \\
 & + (m_1 \cdot g \cdot l_{10} - m_2 \cdot g \cdot l_{20} - m_3 \cdot g \cdot l_{03}) \cdot q_3 \\
 & + 2(c_{td1} + c_{td2}) \cdot (q_2 + l_{10} \cdot q_3 - h_{10}) \cdot l_{10} \\
 & - 2c_{td3} \cdot (q_2 - l_{20} \cdot q_3 - h_{20}) \cdot l_{20} + 2(b_{td1} + b_{td2}) \cdot (\dot{q}_2 + l_{10} \cdot \dot{q}_3) \cdot l_{10} \\
 & - 2b_{td3} \cdot (\dot{q}_2 - l_{20} \cdot \dot{q}_3) \cdot l_{20} = [P_{dt}^z(t) + P_{dp}^z(t)] \cdot l_{03} \\
 & \dots\dots\dots \\
 & (J_{0x} + J_{1x} + J_{3x}) \cdot \ddot{q}_4 + \frac{1}{2} \cdot [(b_{td1} + b_{td2}) \cdot b_2^2 + b_{td4} \cdot b_{x1}^2] \cdot \dot{q}_4 \\
 & + \frac{1}{2} \cdot [(c_{td1} + c_{td2}) \cdot b_2^2 + c_{td4} \cdot b_{x1}^2] \cdot q_4 = \frac{B}{4} \cdot (P_{dt}^z(t) - P_{dp}^z(t)) \\
 & \dots\dots\dots \\
 & J_{2x} \cdot \ddot{q}_5 + \frac{1}{2} \cdot b_{td3} \cdot b_i^2 \cdot \dot{q}_5 + \frac{1}{2} \cdot c_{td3} \cdot b_i^2 \cdot q_5 = 0 \\
 & \dots\dots\dots \\
 & m_3 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 \cdot \ddot{q}_1 - m_3 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \ddot{q}_2 + m_3 \cdot l_{03} \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \ddot{q}_3 + m_3 \cdot l_{33}^2 \cdot \ddot{q}_6 \\
 & + m_3 \cdot [\dot{q}_1 \cdot \dot{q}_6 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 + \dot{q}_2 \cdot \dot{q}_6 \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 - l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_3 \cdot \dot{q}_6 \cdot \sin q_6] \\
 & - m_3 \cdot [\dot{q}_1 \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 \cdot \dot{q}_6^2 + \dot{q}_2 \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6 - l_{03} \cdot l_{33} \cdot \dot{q}_3 \cdot \dot{q}_6^2 \cdot \sin q_6] \\
 & - m_3 \cdot g \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 + 2c_{td4} \cdot l_{34}^2 \cdot \sin q_6 \cdot \cos q_6 + 2 \cdot b_{td4} \cdot l_{34}^2 \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos^2 q_6 \\
 & = -(P_{dt}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 + P_{dp}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \sin q_6 - P_{dt}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \cos q_6 - P_{dp}^z(t) \cdot l_{33} \cdot \cos q_6)
 \end{aligned}$$

**3. KẾT QUẢ GIẢI HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN**

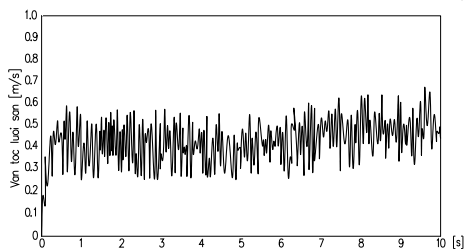
Chương trình tính toán, giải hệ phương trình vi phân dựa trên bộ công cụ Simulink trong phần mềm Matlab. Kết quả khảo sát ở vận tốc di chuyển trung bình  $\dot{q}_1 = 0,4m/s$ , chiều sâu cắt trung bình  $h_1 = 0,12m$  thu được chuyển vị, vận tốc, gia tốc của lưỡi san dưới dạng đồ thị như sau:

- Chuyển vị của lưỡi san trong quá trình làm việc  $q_6$  (hình 3):



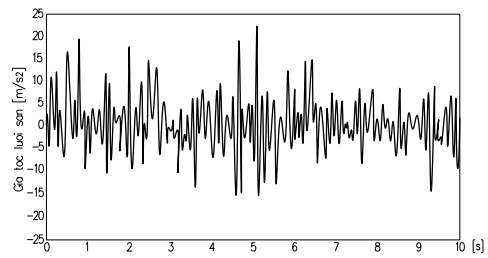
Hình 3. Đồ thị chuyển vị của lưỡi san trong quá trình làm việc  $q_6$  (rad)

- Vận tốc của lưỡi san trong quá trình làm việc  $\dot{q}_6$  (hình 4):



Hình 4. Đồ thị vận tốc của lưỡi san trong quá trình làm việc  $\dot{q}_6$  (rad/s)

- Gia tốc của lưỡi san trong quá trình làm việc  $\ddot{q}_6$  (hình 5):



Hình 5. Đồ thị gia tốc của lưỡi san trong quá trình làm việc  $\ddot{q}_6$  (rad/s^2)

**Phân tích kết quả khảo sát:**

Từ hình 3, 4, 5 cho thấy chuyển vị của lưỡi san trong quá trình làm việc ứng với vận tốc  $\dot{q}_1 = 0,4m/s$  và chiều sâu cắt trung bình  $h_1 = 0,12m$  là khá lớn. Điều đó làm cho vận tốc, gia tốc của lưỡi san cũng thay đổi liên tục không ổn định vì vậy độ phẳng của mặt đường sau khi san là không tốt. Căn cứ vào thực tế đó, nhóm tác giả sẽ hướng tới việc khảo sát các thông số động lực học của máy nhằm để xuất chế độ làm việc hợp lý để nâng cao năng suất và độ phẳng của bề mặt đường sau khi san.

**4. KẾT LUẬN**

Bài báo đã trình bày nghiên cứu xây dựng được mô hình dao động, hệ phương trình vi phân bậc 2 của máy san trong quá trình làm việc. Sử dụng công cụ Simulink trong phần mềm Matlab để giải hệ phương trình và thu được một số kết quả như sau: Xác định được các thông số chuyển vị, vận tốc, gia tốc của các khâu và của toàn máy.

Căn cứ vào kết quả trên sẽ hướng tới việc khảo sát các thông số động lực học của máy san trong quá trình làm việc. Từ đó để xuất chế độ làm việc hợp lý của máy nhằm nâng cao năng suất và độ phẳng của mặt đường sau quá trình san.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Баловнев В.И. (1981), *Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия*, Москва Машиностроение.
- [2]. Корчагин П.А., Корчагина Е.А., Чакурин И.А. *Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера в транспортном режиме: Монография*. - Омск: СибАДИ, 2009. - 195 с.
- [3]. Vũ Thế Lộc, Vũ Thanh Bình (1997), *Máy làm đất*, NXB Giao thông vận tải.
- [4]. Phạm Hữu Đồng, Hoa Văn Ngữ, Lưu Bá Thuận (2004), *Máy làm đất*, NXB Xây dựng.
- [5]. Đỗ Sanh (2004), *Động lực học máy*, NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [6]. Nguyễn Văn Vịnh (2008), *Động lực học máy xây dựng và xếp dỡ*, NXB Giao thông vận tải.
- [7]. Баловнев В.И. (1981), *Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин*. М. Высшая школа.