

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT
TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

TRẦN VĂN TÙNG

**NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC DỌC LIÊN HỢP
MÁY KÉO BÓN BÁNH VÀ RƠ MOỐC MỘT TRỤC
KHI VẬN CHUYỂN GỖ TRÊN ĐƯỜNG LÂM NGHIỆP**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 62 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, 2017

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP VIỆT NAM

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Nguyễn Nhật Chiêu
2. TS. Nguyễn Văn Bỉ

Phản biện 1:

PGS.TS. Nguyễn Văn Bang

Phản biện 2:

PGS.TS. Nông Văn Vìn

Phản biện 3:

PGS.TS. Trần Quang Hùng

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường theo Quyết định số: ngày tháng 8 năm 2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Lâm nghiệp, họp tại Trường Đại học Lâm nghiệp vào hồi:giờ ngày thángnăm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Trường Đại học Lâm nghiệp
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay, việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm các thiết bị chuyên dùng lắp trên các nguồn động lực để sử dụng vào nhiều mục đích khác nhau đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước mã số KC 07/26 đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo ra rơ mooc một trục lắp sau máy kéo bốn bánh Shibaura 3000A. Tuy nhiên, đề tài mới chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu thiết kế ra mẫu máy, chưa nghiên cứu sâu về động lực học liên hợp máy. Để nâng cao hiệu quả sử dụng và đảm bảo an toàn trong quá trình làm việc rất cần thiết phải tiến hành nghiên cứu đầy đủ về động lực học của liên hợp máy đặc biệt là động lực học dọc của liên hợp máy trong quá trình làm việc trên điều kiện đường lâm nghiệp.

Xuất phát từ ý nghĩa thực tiễn nêu trên, tác giả tiến hành thực hiện luận án: “*Nghiên cứu động lực học dọc liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ mooc một trục khi vận chuyển gỗ trên đường lâm nghiệp*”.

2. Mục tiêu của luận án

Xây dựng mô hình động lực học dọc liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ mooc một trục có xét đến khớp nối mềm và biến dạng bánh xe chủ động theo phương tiếp tuyến. Khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu khớp nối đến phản lực pháp tuyến tác động lên các cầu làm cơ sở xác định chế độ làm việc an toàn trên dốc dọc và hoàn thiện thiết kế liên hợp máy.

3. Nội dung nghiên cứu

Lập mô hình nghiên cứu động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ mooc một trục khi kể đến biến dạng tiếp tuyến của bánh xe chủ động và khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ mooc.

Khảo sát ảnh hưởng của khớp nối mềm tới phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo khi tăng tốc để xác định giới hạn làm việc của liên hợp máy theo điều kiện lái; thời gian và quãng đường khi phanh để đánh giá hiệu quả phanh.

Nghiên cứu thực nghiệm xác định một số thông số đầu vào phục vụ giải bài toán lý thuyết và kiểm chứng một số kết quả nghiên cứu lý thuyết.

4. Đối tượng nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu của luận án là liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ moóc một trục có khớp nối mềm khi chở gỗ trên điều kiện đường lâm nghiệp.

5. Phương pháp nghiên cứu

Luận án đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết trên cơ sở ứng dụng phương trình Lagranger loại II để lập hệ phương trình vi phân, sử dụng phần mềm matlab – simulink để khảo sát hệ phương trình. Đồng thời luận án cũng sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đo lường các đại lượng không điện bằng điện để xác định các thông số đầu vào của bài toán lý thuyết và kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Xây dựng cơ sở lý luận cho việc nghiên cứu động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ moóc một trục.

Tính toán hoàn thiện thiết kế, góp phần xác định chế độ làm việc hợp lý của liên hợp máy trong thực tiễn sản xuất.

7. Cấu trúc của luận án

Mở đầu

Chương 1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.

Chương 2. Mô hình động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ moóc một trục.

Chương 3. Khảo sát động lực học dọc của liên hợp máy.

Chương 4. Nghiên cứu thực nghiệm.

Kết luận và kiến nghị.

Chương 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trình bày tổng quát tình hình vận chuyên gỗ rừng trồng hiện nay: về loại phương tiện và hàng hoá trong khai thác gỗ; đường vận chuyển trong lâm nghiệp và dạng máy mô mặt đường. Tìm hiểu tổng quan về tình hình sử dụng máy kéo trong sản xuất nông – lâm nghiệp hiện nay. Tìm hiểu tổng quan về tình hình nghiên cứu động lực học của đoàn xe, liên hợp máy trong nước và trên thế giới.

Với những mục tiêu nghiên cứu khác nhau, nói chung các công trình nghiên cứu đều đạt được những thành tựu nhất định, có giá trị thực tiễn cao và làm tài liệu tham khảo cho những nghiên cứu tiếp theo.

Nghiên cứu động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ moóc một trục có kể đến biến dạng xoắn của lốp và khớp nối mềm khi làm việc trên điều kiện đường lâm nghiệp là hướng nghiên cứu cần thiết. Đây là hướng nghiên cứu làm cơ sở cho các bước nghiên cứu tiếp theo, xác định chế độ làm việc an toàn của liên hợp máy trên điều kiện dốc dọc và đề xuất hoàn thiện thiết kế kết cấu liên hợp máy.

Trên cơ sở đó, tác giả xác định các nội dung cần tập trung nghiên cứu của đề tài luận án như sau:

- Nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ moóc một trục khi làm việc trên điều kiện đường lâm nghiệp.
- Nghiên cứu động lực học bánh xe chủ động theo phương tiếp tuyến.
- Nghiên cứu động lực học của khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ moóc.
- Khảo sát động lực học dọc của liên hợp máy.
- Nghiên cứu thực nghiệm để xác định một số thông số phục vụ giải bài toán lý thuyết và để kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết.

Chương 2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC DỌC CỦA LIÊN HỢP MÁY KÉO BỐN BÁNH VÀ RƠ MOOC MỘT TRỤC

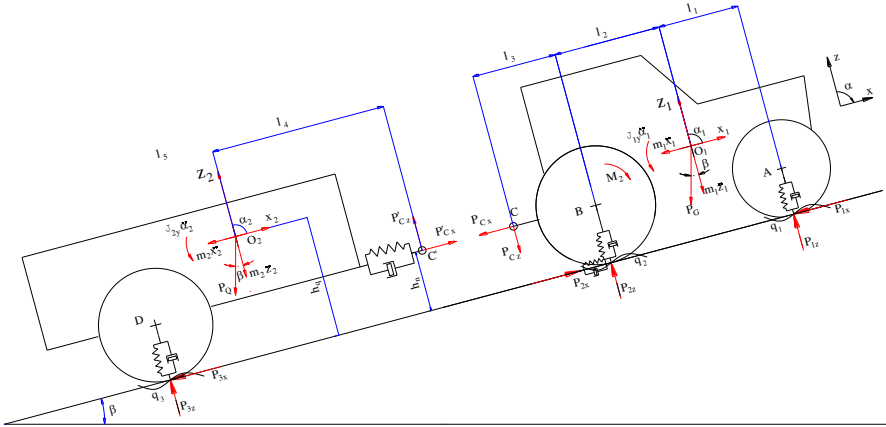
Liên hợp máy được nghiên cứu bao gồm máy kéo bánh hơi bốn bánh và rơ moóc một trục được liên kết với nhau bằng khớp nối mềm. Trong giới hạn nghiên cứu của luận án, đề lập mô hình động lực học dọc của liên hợp máy, luận án thừa nhận một số giả thiết sau:

- Liên hợp máy là một cơ hệ gồm hai vật: máy kéo và rơ moóc có các khối lượng tập trung tại các trọng tâm O1 và O2 của máy kéo và rơ moóc (hình 2.1 và hình 2.2);
- Tải trọng đặt trên rơ moóc được cố định với rơ moóc và được giả thiết là một khối thống nhất và không có chuyển động tương đối với rơ moóc.
- Liên hợp máy chuyển động không trượt, phản ứng của liên hợp máy nằm trong giới hạn làm việc tuyến tính;
- Kết cấu của máy kéo, rơ moóc và cả tải trọng gổ đặt trên rơ moóc là đối xứng qua mặt phẳng thẳng đứng dọc, các tọa độ trọng tâm cũng nằm trên mặt phẳng ấy. Mô hình động lực học của liên hợp máy được quy về mô hình một vết trong đó các lực và mô men đặt vào các bánh xe là đại lượng được quy đổi từ các cặp bánh trong các trục tương ứng;

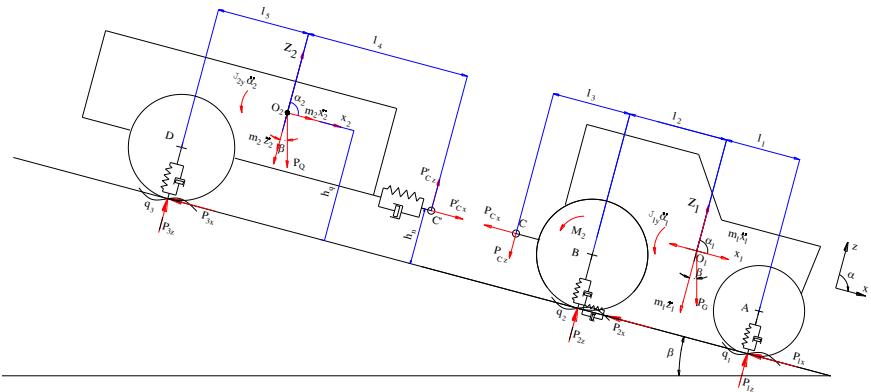
- Động cơ chỉ truyền mô men xoắn đến trục bánh xe chủ động của máy kéo, động cơ được coi như một bánh đà vô cùng lớn;
- Liên kết giữa máy kéo và rơ mooc là khớp nối 4 bậc tự do (xoay theo 3 trục và dịch chuyển theo trục x do sự biến dạng của khớp nối mềm);
- Bỏ qua sức cản của không khí và ma sát trong các ổ trục.

2.1. Mô hình

Trên cơ sở cấu tạo và nguyên lý làm việc của liên hợp máy, luận án xây dựng được mô hình động lực học của liên hợp máy như hình 2.1 và hình 2.2.



Hình 2.1. Mô hình động lực học liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ mooc một trục khi tăng tốc lên dốc



Hình 2.2. Mô hình động lực học liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ mooc một trục phanh khi xuống dốc

Xác định các yếu tố trong mô hình: Các thông số về kích thước hình học ($l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, h_k, h_m, h_n, r_2$), các thông số khối lượng m_1, m_2 được xác định bằng phương pháp đo thực tế hoặc kế thừa các số liệu từ công trình đã công bố [14], [8];

Các thông số độ cứng, hệ số cản theo phương oz (k_{iz}, c_{iz}) được kế thừa theo kết quả nghiên cứu được công bố [8];

Các thông số độ cứng và hệ số cản của khớp nối mềm theo phương ox (c_{4x}, k_{4x}) được tính toán lý thuyết (chương 3 của luận án), độ cứng và hệ số cản của lớp chủ động máy kéo (c_{2x}, k_{2x}) được xác định bằng thực nghiệm (chương 4 của luận án); hệ số cản lăn f_i và hệ số bám ψ được xác định bằng thực nghiệm (chương 4 của luận án);

Các phản lực P_{iz}, P_{ix} lên bánh xe được xác định bằng phương pháp cân bằng lực và mô men đối với cơ hệ là máy kéo và rơ mooc (được trình bày tại mục 2.1.3 của luận án):

Biến dạng lò xo khớp nối mềm u_{4x} là một biến thay đổi theo thời gian và được xác định bằng cách nghiên cứu động lực học khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ mooc (trình bày trong mục 2.3):

Biến dạng tiếp tuyến của lớp xe chủ động u_{2x} là một biến thay đổi theo thời gian và được xác định bằng cách nghiên cứu động lực học bánh xe chủ động theo phương tiếp tuyến (trình bày trong mục 2.2):

Các yếu tố $x_1, z_1, \alpha_1, \alpha_2$ chính là nghiệm của hệ phương trình vi phân động lực học liên hợp máy.

2.2. Hệ phương trình vi phân

Đề lập phương trình vi phân, luận án áp dụng phương trình Lagranger loại II. Bằng việc tính toán hàm động năng, thế năng, hàm hao tán và các ngoại lực suy rộng của hệ, luận án thiết lập được hệ phương trình vi phân của hệ trong hai trường hợp như sau:

- *Liên hợp máy trong quá trình tăng tốc:*

$$\left\{ \begin{array}{l}
(m_1 + m_2) \ddot{x}_1 + k_{2x} \dot{x}_1 + c_{2x} x_1 - k_{2x} r_2 \dot{\phi}_2 - c_{2x} r_2 \dot{\phi}_2 - m_2 \ddot{u}_{4x} = P_k - P_{1z} f_1 - P_{3z} f_3 \\
(m_1 + m_2) \ddot{z}_1 + (k_{1z} + k_{2z} + k_{3z}) \dot{z}_1 + (c_{1z} + c_{2z} + c_{3z}) z_1 - m_2 u_{4x} \ddot{\alpha}_1 + (k_{1z} l_1 + k_{2z} l_2 \\
+ k_{3z} u_{4x} - 2m_2 \dot{u}_{4x}) \dot{\alpha}_1 + (c_{1z} l_1 - c_{2z} l_2 - c_{3z} u_{4x} - m_2 \ddot{u}_{4x} - k_{3z} \dot{u}_{4x}) \alpha_1 + k_{3z} l_5 \dot{\alpha}_2 \\
+ l_5 c_{3z} \alpha_2 - k_{1z} \dot{q}_1 - c_{1z} q_1 - k_{2z} \dot{q}_2 - c_{2z} q_2 - k_{3z} \dot{q}_3 - c_{3z} q_3 + (m_1 + m_2) g = P_{1z} + P_{2z} + P_{3z} \\
(m_2 u_{4x}^2 + J_{1y}) \ddot{\alpha}_1 + (k_{1z} l_1^2 + k_{2z} l_2^2 + k_{3z} u_{4x}^2 + m_2 u_{4x} \dot{u}_{4x}) \dot{\alpha}_1 \\
+ (m_2 u_{4x} \ddot{u}_{4x} + k_{3z} u_{4x} \dot{u}_{4x} + c_{1z} l_1^2 + c_{2z} l_2^2 + c_{3z} u_{4x}^2 + m_2 \dot{u}_{4x}^2) \alpha_1 - m_2 u_{4x} \ddot{z}_1 \\
+ (k_{1z} l_1 - k_{2z} l_2 - k_{3z} u_{4x} + m_2 \dot{u}_{4x}) \dot{z}_1 + (c_{1z} l_1 - c_{2z} l_2 - c_{3z} u_{4x}) z_1 + k_{3z} l_5 u_{4x} \dot{\alpha}_2 - l_5 c_{3z} u_{4x} \alpha_2 \\
- k_{1z} l_1 \dot{q}_1 - k_{2z} l_2 \dot{q}_2 - k_{3z} u_{4x} \dot{q}_3 - c_{1z} l_1 q_1 + c_{2z} l_2 q_2 - c_{3z} u_{4x} q_3 - m_2 g u_{4x} = P_{1z} f_1 l_1 - P_{2z} f_2 l_2 \\
J_{2y} \ddot{\alpha}_2 + k_{3z} l_5^2 \dot{\alpha}_2 - k_{3z} l_5 \dot{u}_{4x} \alpha_2 + c_{3z} l_5^2 \alpha_2 \\
+ k_{3z} l_5 \dot{z}_1 + c_{3z} l_5 z_1 - k_{3z} l_5 u_{4x} \dot{\alpha}_1 - l_5 c_{3z} u_{4x} \alpha_1 - k_{3z} l_5 \dot{q}_3 - c_{3z} l_5 q_3 = P_{3z} f_3 l_5 \quad (2.32)
\end{array} \right.$$

- Liên hợp máy trong quá trình phanh:

$$\left\{ \begin{array}{l}
(m_1 + m_2) \ddot{x}_1 + k_{2x} \dot{x}_1 + c_{2x} x_1 - k_{2x} r_2 \dot{\phi}_2 - c_{2x} r_2 \dot{\phi}_2 - m_2 \ddot{u}_{4x} = P_p + P_{1z} f_1 + P_{3z} f_3 \\
(m_1 + m_2) \ddot{z}_1 + (k_{1z} + k_{2z} + k_{3z}) \dot{z}_1 + (c_{1z} + c_{2z} + c_{3z}) z_1 - m_2 u_{4x} \ddot{\alpha}_1 + (k_{1z} l_1 + k_{2z} l_2 \\
+ k_{3z} u_{4x} - 2m_2 \dot{u}_{4x}) \dot{\alpha}_1 + (c_{1z} l_1 - c_{2z} l_2 - c_{3z} u_{4x} - m_2 \ddot{u}_{4x} - k_{3z} \dot{u}_{4x}) \alpha_1 + k_{3z} l_5 \dot{\alpha}_2 \\
+ l_5 c_{3z} \alpha_2 - k_{1z} \dot{q}_1 - c_{1z} q_1 - k_{2z} \dot{q}_2 - c_{2z} q_2 - k_{3z} \dot{q}_3 - c_{3z} q_3 + (m_1 + m_2) g = P_{1z} + P_{2z} + P_{3z} \\
(m_2 u_{4x}^2 + J_{1y}) \ddot{\alpha}_1 + (k_{1z} l_1^2 + k_{2z} l_2^2 + k_{3z} u_{4x}^2 + m_2 u_{4x} \dot{u}_{4x}) \dot{\alpha}_1 \\
+ (m_2 u_{4x} \ddot{u}_{4x} + k_{3z} u_{4x} \dot{u}_{4x} + c_{1z} l_1^2 + c_{2z} l_2^2 + c_{3z} u_{4x}^2 + m_2 \dot{u}_{4x}^2) \alpha_1 - m_2 u_{4x} \ddot{z}_1 \\
+ (k_{1z} l_1 - k_{2z} l_2 - k_{3z} u_{4x} + m_2 \dot{u}_{4x}) \dot{z}_1 + (c_{1z} l_1 - c_{2z} l_2 - c_{3z} u_{4x}) z_1 + k_{3z} l_5 u_{4x} \dot{\alpha}_2 - l_5 c_{3z} u_{4x} \alpha_2 \\
- k_{1z} l_1 \dot{q}_1 - k_{2z} l_2 \dot{q}_2 - k_{3z} u_{4x} \dot{q}_3 - c_{1z} l_1 q_1 + c_{2z} l_2 q_2 - c_{3z} u_{4x} q_3 - m_2 g u_{4x} = P_{1z} f_1 l_1 - P_{2z} f_2 l_2 \\
J_{2y} \ddot{\alpha}_2 + k_{3z} l_5^2 \dot{\alpha}_2 - k_{3z} l_5 \dot{u}_{4x} \alpha_2 + c_{3z} l_5^2 \alpha_2 \\
+ k_{3z} l_5 \dot{z}_1 + c_{3z} l_5 z_1 - k_{3z} l_5 u_{4x} \dot{\alpha}_1 - l_5 c_{3z} u_{4x} \alpha_1 - k_{3z} l_5 \dot{q}_3 - c_{3z} l_5 q_3 = P_{3z} f_3 l_5 \quad (2.33)
\end{array} \right.$$

Nhận xét:

Trong hệ phương trình (2.32) và (2.33) ta nhận thấy: Dịch chuyển, gia tốc của dịch chuyển trọng tâm máy kéo và rơ moóc phụ thuộc vào biến dạng của lò xo u_{4x} và biến dạng của bánh xe chủ động theo phương tiếp tuyến u_{2x} .

Để khảo sát các hệ phương trình (2.32) và (2.33) ta phải xác định các thành phần phản lực pháp tuyến lên các bánh xe (được xác định trong nội dung 2.1.3).

Chương 3. KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC DẠNG CỦA LIÊN HỢP MÁY

3.1. Xác định các thông số phục vụ giải bài toán lý thuyết

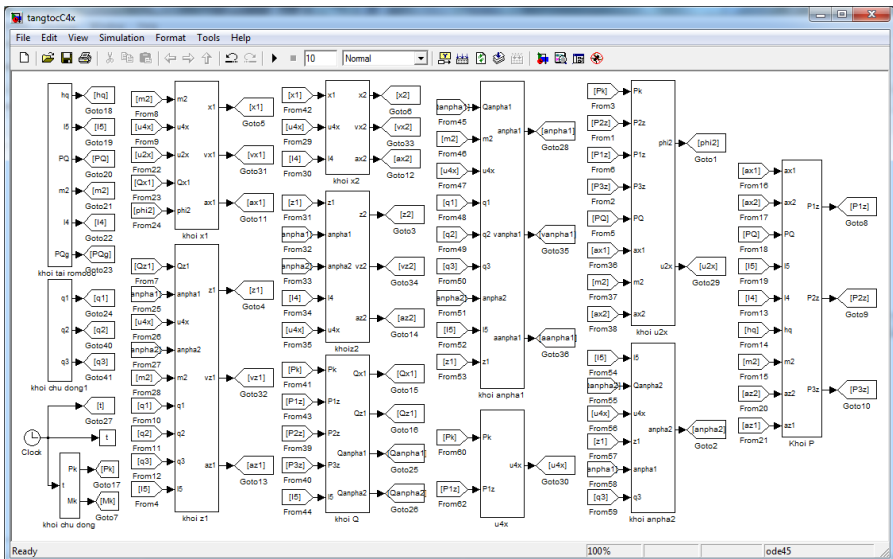
Các thông số đầu vào phục vụ giải bài toán lý thuyết được luận án tính toán bằng lý thuyết, thực nghiệm và kế thừa kết quả nghiên cứu của các công trình đã được công bố [14],[8].

Luận án tiến hành tính toán sơ bộ độ cứng và hệ số cản của khớp nối mềm làm cơ sở để khảo sát ảnh hưởng của khớp nối mềm tới động lực học dạng của liên hợp máy. Kết quả tính toán sơ bộ: $C_{4x} = 243.541 \text{ N/m}$; $k_{4x} = 31.685 \text{ (Ns/m)}$.

Tiến hành xác định hàm tọa độ trọng tâm của rơ mooc sau khi chất tải làm cơ sở khảo sát động lực học dạng khi thay đổi đối tượng vận chuyển. Kết quả tính được tọa độ theo chiều dọc và chiều cao như sau:

$$l_5 = \frac{P_{Q_m}(L_m - l_{4m}) + P_{Q_g} l_{5g}}{P_{Q_m} + P_{Q_g}} \quad (3.8) \quad h_q = \frac{P_{Q_m} h_m + P_{Q_{S1}} h_{S1} + P_{Q_{S2}} h_{S2}}{P_{Q_m} + P_{Q_{S1}} + P_{Q_{S2}}} \quad (3.12)$$

Để giải hệ phương trình vi phân, luận án sử dụng phần mềm Matlab – Simulink. Kết quả lập chương trình giải hệ phương trình vi phân được thể hiện ở hình 3.5



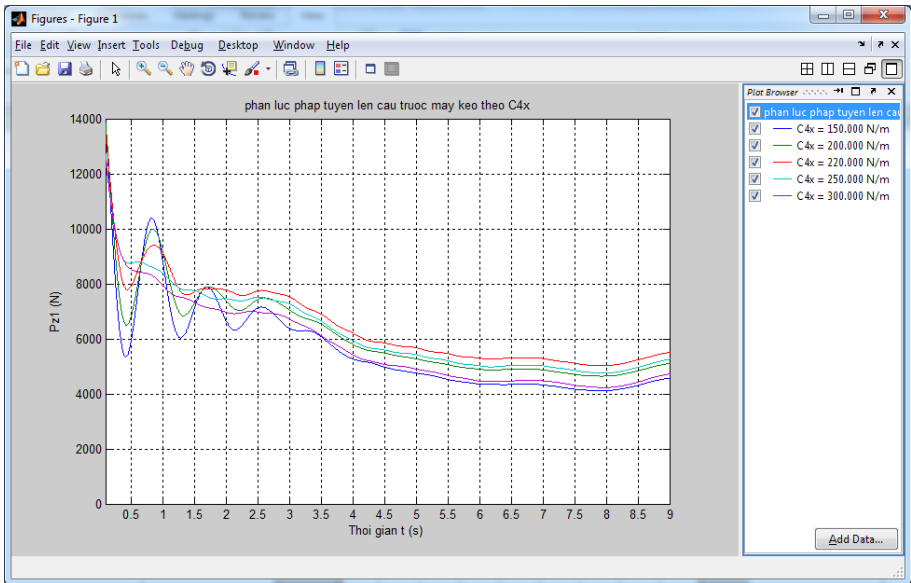
Hình 3.5. Chương trình giải hệ phương trình vi phân bằng phần mềm Matlab - Simulink

3.2. Khảo sát động lực học dọc liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ moóc một trục khi tăng tốc

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của độ cứng lò xo trong khớp nối mềm tới phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo trong trường hợp tăng tốc

Tiến hành giải hệ phương trình vi phân động lực học của liên hợp máy bằng phần mềm Matlab – Simulink với các điều kiện khảo sát: Các thông số hình học, kết cấu lấy tại phụ lục 01 luận án ; $C4x = [150.000 \ 200.000 \ 220.000 \ 250.000 \ 300.000]$ N/m; Khảo sát trên điều kiện mặt đường loại 3 trong thí nghiệm xác định hệ số cản lăn $f = 0,0161$ và hệ số bám $\psi = 0,7602$; Mấp mô mặt đường dạng hình sin, $q_0 = 60$ mm, $s_0 = 1$ m ; Khảo sát trên điều kiện đường nằm ngang: $\beta = 0\%$; Chiều dài gỗ: $L_g = 4$ m; Chiều cao xếp gỗ: $h_g = 0,85$ m ; Khối lượng tải tính toán: $m_g = 3.000$ kg.

Kết quả khảo sát phản lực pháp tuyến thay đổi theo thời gian tương ứng 5 giá trị độ cứng lò xo khớp nối khác nhau được thể hiện trên hình 3.6.



Hình 3.6. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo với các giá trị độ cứng lò xo trong khớp nối khác nhau.

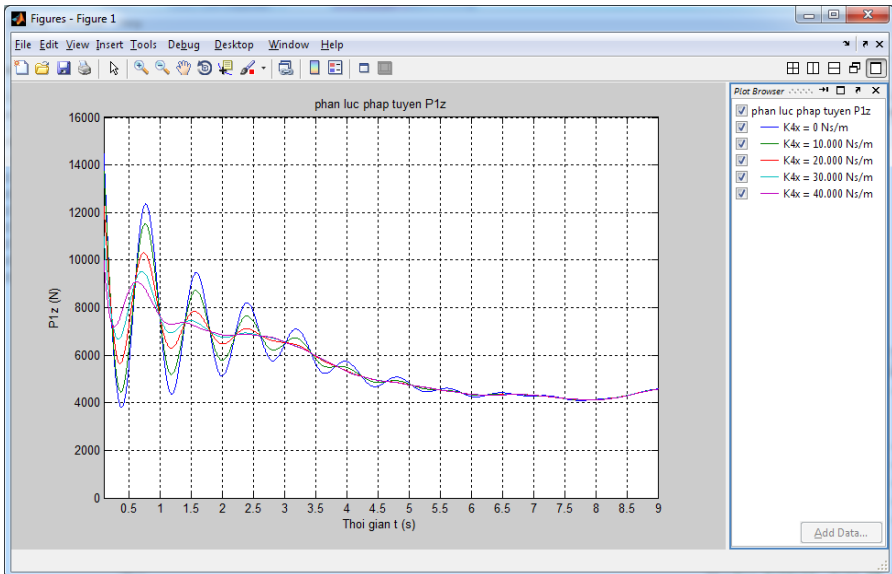
Dựa vào hình 3.6 ta thấy: Khi liên hợp máy tăng tốc, do hiện tượng phân bố lại tải trọng lên các cầu của máy kéo, do đó phản lực pháp tuyến

lên cầu trước máy kéo giảm. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo giảm có phụ thuộc vào độ cứng lò xo trong khớp nối mềm, tuy nhiên sự thay đổi không tỷ lệ thuận. Khi độ cứng nhỏ quá và lớn quá đều làm phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo giảm. Từ kết quả khảo sát nêu trên, luận án tiến hành chọn giá trị độ cứng của lò xo trong khớp nối mềm là $C_{4x} = 220.000 \text{ N/m}$ để khảo sát các thông số tiếp theo và để tính toán thiết kế khớp nối mềm phục vụ nghiên cứu thực nghiệm.

3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của hệ số cản của khớp nối mềm tới phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo.

Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của hệ số cản tới phản lực pháp tuyến với các điều kiện tương tự mục 3.2.1, tuy nhiên khảo sát với $C_{4x} = 220.000 \text{ N/m}$; $K_{4x} = [0 \ 10.000 \ 20.000 \ 30.000 \ 40.000] \text{ Ns/m}$.

Kết quả khảo sát phản lực pháp tuyến thay đổi theo thời gian tương ứng 5 giá trị hệ số cản của khớp nối khác nhau được thể hiện trên hình 3.9.



Hình 3.9. Giá trị phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo theo thời gian tương ứng với 5 giá trị hệ số giảm chấn

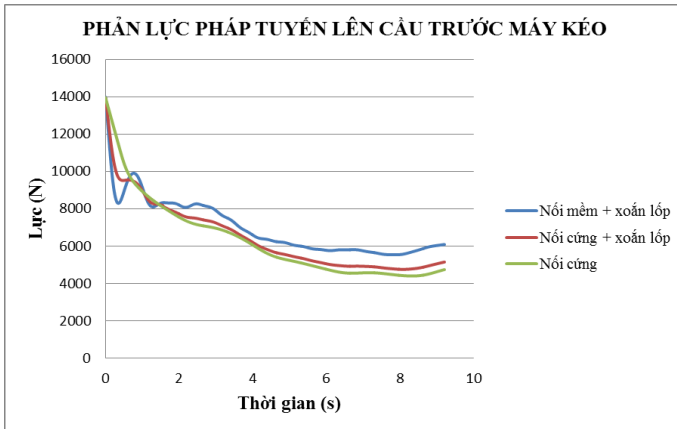
Từ kết quả khảo sát cho thấy, giá trị của hệ số giảm chấn ảnh hưởng tới tốc độ dập tắt dao động tương đối giữa máy kéo và rơ mooc mà không ảnh hưởng nhiều tới giá trị phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy

kéo tối thiểu. Tác dụng của hệ số giảm chấn là để dập tắt dao động, do đó luận án chọn giá trị $K_{4x} = 30.000 \text{ Ns/m}$ làm giá trị phục vụ các khảo sát sau này.

3.2.3. Khảo sát phản lực pháp tuyến lên cầu trước có xét đến ảnh hưởng của khớp nối cứng, mềm và biến dạng lớp bánh xe chủ động theo phương tiếp tuyến

Tiến hành khảo sát với các thông số tương tự mục 3.2.1 và trường hợp sử dụng khớp nối mềm có các giá trị: $C_{4x} = 220.000 \text{ N/m}$; $K_{4x} = 30.000 \text{ Ns/m}$.

Kết quả khảo sát đạt được như sau :



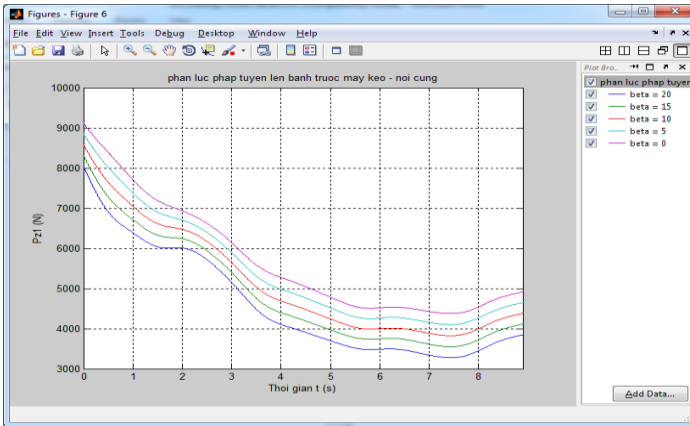
Hình 3.10. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo trong ba trường hợp: Khớp nối cứng - nối cứng có kể tới xoắn lớp - nối mềm có kể đến xoắn lớp

Từ hình vẽ 3.10 ta nhận thấy, trong ba trường hợp khảo sát, giá trị của phản lực pháp tuyến đều giảm khi mô men chủ động tăng. Tuy nhiên, trường hợp khớp nối cứng không kể đến biến dạng tiếp tuyến của lớp chủ động thì phản lực pháp tuyến sẽ bị giảm nhiều nhất, trường hợp nối mềm có kể đến biến dạng tiếp tuyến của lớp chủ động bị giảm ít nhất. Trường hợp khớp nối mềm giá trị phản lực pháp tuyến có biến đổi trong giai đoạn ban đầu nhưng sau đó ổn định.

3.2.4. Xác định giới hạn làm việc an toàn theo điều kiện lái (giá trị phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo tối thiểu) khi sử dụng khớp nối cứng/mềm

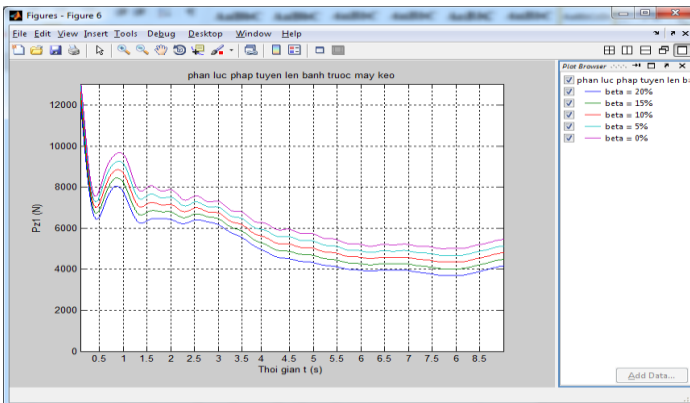
Tiến hành khảo sát với các điều kiện tương tự mục 3.2.1 và độ dốc mặt đường thay đổi $\beta = [0 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20] \%$. Kết quả khảo sát phản lực pháp tuyến thay đổi theo thời gian tương ứng 5 giá trị độ dốc dọc mặt đường khác nhau được thể hiện trên hình 3.11 và hình 3.12.

- Trường hợp sử dụng khớp nối cứng :



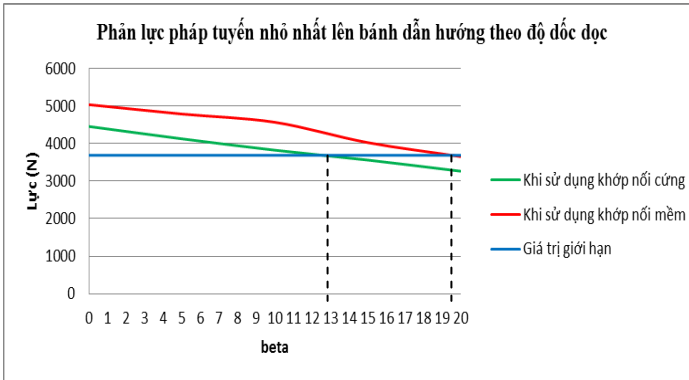
Hình 3.11. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo tương ứng với độ dốc dọc mặt đường trong trường hợp khớp nối cứng

- Trường hợp sử dụng khớp nối mềm:



Hình 3.12. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo tương ứng với độ dốc dọc mặt đường trong trường hợp khớp nối mềm

Kết quả khảo sát giá trị phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo nhỏ nhất trong các trường hợp được biểu diễn trên hình 3.13.

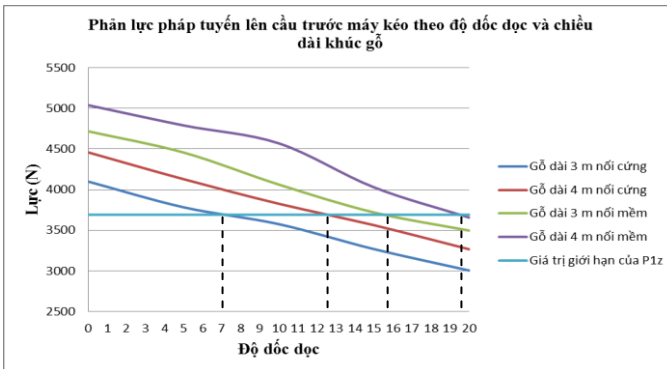


Hình 3.13. Phân lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo nhỏ nhất theo độ dốc dọc mặt đường trong hai trường hợp nối cứng và nối mềm

Đối chiếu với điều kiện lái ($P1z\text{-min} > 0,25 PG = 3.690 N$) thì trường hợp dùng khớp nối mềm giúp tăng khả năng làm việc trên điều kiện đất dốc dọc mặt đường từ 12,5% lên đến 19,5%.

3.2.5. Khảo sát ảnh hưởng của chiều dài khúc gỗ tới phân lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo khi sử dụng khớp nối cứng và khớp nối mềm trong trường hợp tăng tốc lên dốc

Luận án xây dựng đồ thị biểu thị thể hiện giá trị nhỏ nhất của phân lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo trong hai trường hợp nối cứng và nối mềm (hình 3.16).



Hình 3.16. Phân lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo nhỏ nhất theo độ dốc dọc mặt đường đối với hai loại gỗ dài 3m và 4m trong hai trường hợp nối cứng và nối mềm.

Khảo sát và khuyến cáo người sử dụng: Nếu sử dụng khớp nối cứng + chỡ loại gỗ dài 3m chỉ làm việc trên độ dốc dọc tối đa 7%; khớp nối cứng + chỡ loại gỗ dài 4m chỉ làm việc trên độ dốc dọc tối đa 12,5%; khớp nối mềm + chỡ loại gỗ dài 3m chỉ làm việc trên độ dốc dọc tối đa 15,5%; khớp nối mềm + chỡ loại gỗ dài 4m chỉ làm việc trên độ dốc dọc tối đa 19,5%;

3.3. Khảo sát ảnh hưởng của khớp nối mềm tới quá trình phanh

Để đánh giá chất lượng phanh của liên hợp máy người ta nghiên cứu cả hiệu quả phanh (thời gian phanh, gia tốc chậm dần, quãng đường phanh) và tính ổn định hướng khi phanh.

Trong điều kiện nghiên cứu giới hạn, luận án tiến hành khảo sát và so sánh thời gian phanh và quãng đường phanh của liên hợp máy trong hai trường hợp nối cứng và nối mềm với điều kiện làm việc nguy hiểm nhất khi phanh là khi liên hợp máy xuống dốc.

3.3.1. Cơ sở lý luận đánh giá quá trình phanh

Sử dụng phương trình cân bằng lực kéo của máy kéo áp dụng khi phanh trên đường trong trường hợp tổng quát và không kể đến lực cản của gió (tốc độ liên hợp máy chậm nên bỏ qua), ta có:

$$P_j = P_f + P_p - P_i - P_{Cx} \quad (3.16)$$

Trong đó: - P_j - lực quán tính khi phanh, $P_j = \delta' m_1 \ddot{x}_1$
 - δ' - hệ số ảnh hưởng khối lượng quay khi ngắt ly hợp, trong trường hợp này ta coi $\delta' \approx 1$.

- \ddot{x}_1 - gia tốc máy kéo khi phanh, nghiệm của hệ phương trình vi phân (2.33).

- P_f - lực cản lăn tại bánh xe, $P_f = P_{f1} + P_{f2}$

- P_p - lực phanh.

- P_i - lực cản độ dốc, $P_i = P_G$

- P_{Cx} - lực tại khớp nối, tính theo công thức (2.43).

Ta có thể viết lại (3.16) như sau:

$$m_1 \ddot{x}_1 = P_{1z} f_1 + P_{2z} f_2 + P_p - P_G \sin \beta - P_{Cx} \quad (3.17)$$

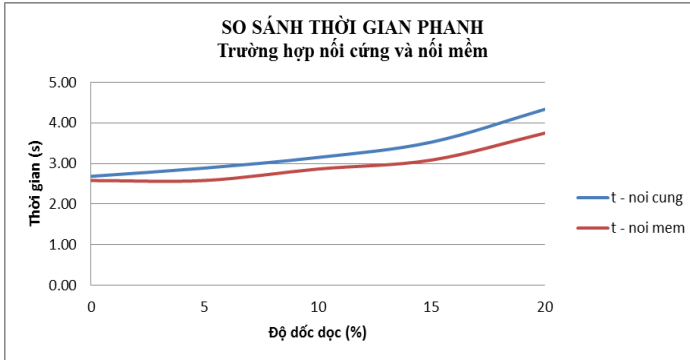
Biết đổi (3.17) và xác định được thời gian và quãng đường phanh tối thiểu theo (3.19) và (3.20)

$$t_{P\min} = \frac{m_1 v_1}{P_{1z} f_1 + P_{2z} f_2 + P_p - P_G \sin \beta - P_{Cx}} \quad (3.19)$$

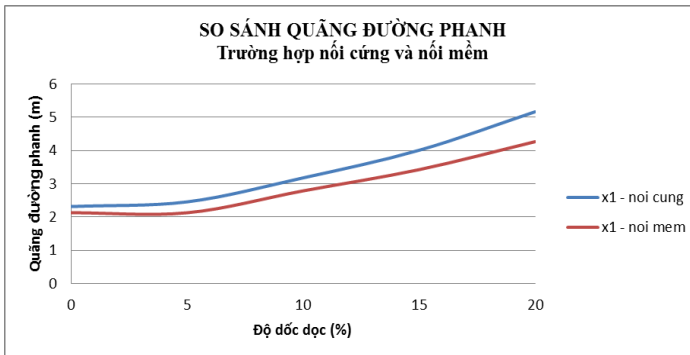
$$S_{\min} = \frac{m_1 v_1^2}{2(P_{1z} f_1 + P_{2z} f_2 + P_p - P_G \sin \beta - P_{Cx})} \quad (3.20)$$

3.3.2. Kết quả khảo sát

Tiến hành khảo sát luận án nhận được kết quả quãng đường phanh và thời gian phanh trong hai trường hợp nổi cứng và nổi mềm. Kết quả được biểu diễn trên hình 3.21 và 3.22.



Hình 3.22. So sánh kết quả khảo sát thời gian phanh theo độ dốc dọc trong hai trường hợp nổi cứng và nổi mềm.



Hình 3.23. So sánh kết quả khảo sát quãng đường phanh theo độ dốc dọc trong hai trường hợp nổi cứng và nổi mềm.

Khảo sát ảnh hưởng của khớp nổi mềm đến quãng đường phanh và thời gian phanh khi xuống dốc. Kết quả khảo sát cho thấy: Khi sử dụng khớp nổi mềm sẽ giảm thời gian phanh 11,164 %, quãng đường phanh cũng giảm được 15,239 % so với sử dụng khớp nổi cứng trong các trường hợp khảo sát với độ dốc khác nhau.

Chương 4

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1. Mục tiêu, nhiệm vụ và đối tượng của nghiên cứu thực nghiệm

4.1.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

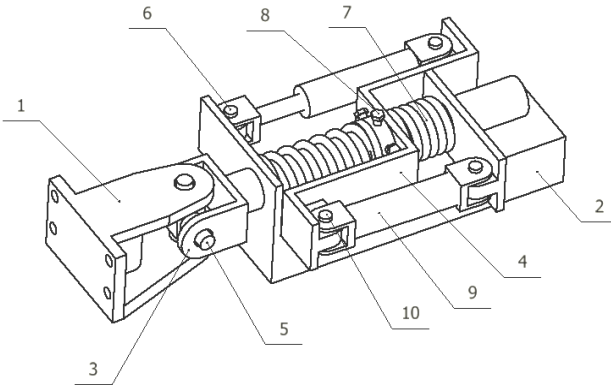
Mục tiêu của nghiên cứu là xác định giá trị một số thông số phục vụ cho giải bài toán lý thuyết và kiểm chứng một số kết quả khảo sát theo mô hình lý thuyết từ đó đánh giá mức độ tin cậy của mô hình toán đã lập.

4.1.2. Nhiệm vụ nghiên cứu thực nghiệm

Nhiệm vụ của nghiên cứu thực nghiệm là: Xác định hệ số cản lăn của máy kéo; Xác định hệ số bám của máy kéo; Xác định độ cứng và hệ số cản của lớp máy kéo theo phương tiếp tuyến; Xác định mô men xoắn trên bán trục chủ động của máy kéo; Xác định phản lực pháp tuyến của mặt đường lên cầu trước máy kéo; Xác định gia tốc theo phương chuyển động của máy kéo và rơ mooc; Xác định độ trượt của bánh chủ động máy kéo trong hai trường hợp sử dụng khớp nối cứng và khớp nối mềm.

4.1.3. Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm

Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm là liên hợp máy kéo bốn bánh shibaura 3000A và rơ mooc một trục là sản phẩm của đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước mã số KC 07/26. Giữa máy kéo và rơ mooc có lắp khớp mềm có cấu tạo như hình 4.2.



Hình 4.2. Cấu tạo khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ mooc

1. Móc chờ trên máy kéo; 2. Khung rơ mooc; 3. Trục căng; 4. Khung chữ Z; 5. Khớp chữ thập; 6. Chốt giữa giảm chấn với khung rơ mooc; 7. Lò xo; 8. Chốt định vị; 9. Bộ phận giảm chấn; 10. Chốt giữa giảm chấn với khung chữ Z.

4.2. Thông số đo, phương pháp đo và thiết bị đo

4.2.1. Hệ số cản lăn và hệ số bám

Luận án dùng một nguồn động lực để kéo máy kéo Shibaura 3000A đằng sau, giữa máy kéo với nguồn động lực có đặt lực kế để ghi lại kết quả đo. Lực kế trong trường hợp này ta sử dụng cảm biến đo lực Z4 có kết nối với thiết bị thu thập và khuếch đại tín hiệu DMCPPlus điều khiển bằng phần mềm máy tính.

- Đối với trường hợp xác định hệ số cản lăn, ta sử dụng kết quả đo trong giai đoạn giá trị vận tốc của liên hợp máy ở trạng thái ổn định. Kết quả đo lực cản lăn và hệ số cản lăn được lưu tại phụ lục 04. Sau khi xử lý và tính toán hệ số cản lăn được cho ở bảng 4.1.

Bảng 4.1. Kết quả đo lực kéo và hệ số cản lăn

Dạng mặt đường	P_{cl} (N)	f
1	2159,64	0,014905
2	2256,20	0,015571
3	2335,04	0,016116

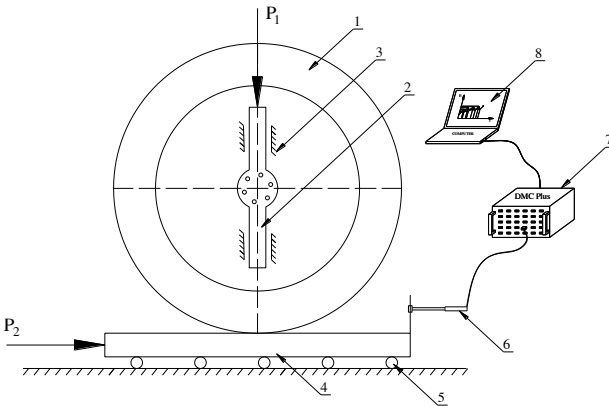
- Đối với trường hợp xác định hệ số bám, ta sử dụng kết quả đo trong giai đoạn giá trị vận tốc của liên hợp máy ở trạng thái ổn định. Kết quả đo lực bám P_b và hệ số bám được lưu tại phụ lục 05. Sau khi xử lý và tính toán hệ số cản lăn được cho ở bảng 4.2.

Bảng 4.2. Kết quả đo lực kéo và tính toán hệ số bám

Dạng mặt đường	P_b (KN)	ψ
1	11,01445	0,76019
2	10,68236	0,73724
3	9,86572	0,68091

4.2.2. Đo độ cứng và hệ số cản của lớp máy kéo theo phương tiếp tuyến

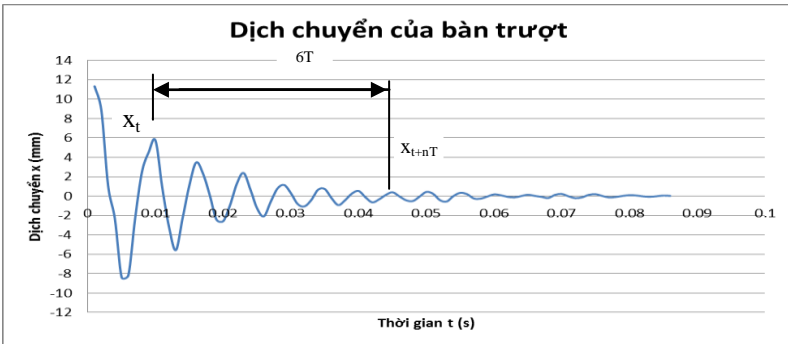
Luận án sử dụng sơ đồ hình 4.9 để xác định độ cứng và hệ số cản của lớp máy kéo theo phương tiếp tuyến.



Hình 4.9. Sơ đồ xác định hệ số độ cứng và hệ số cản lớp máy kéo
 1. Lớp máy kéo; 2. Thanh trượt đứng; 3. Giá đỡ thanh trượt đứng; 4. Bàn trượt ngang; 5. Con lăn; 6. Cảm biến đo dịch chuyển; 7. Thiết bị thu thập, khuếch đại tín hiệu đo lường; 8. Máy tính có phần mềm DMC labplus.

Kết quả thí nghiệm

Sau khi có kết quả thí nghiệm, luận án tiến hành vẽ lại đồ thị (hình 4.27), xác định các đại lượng cần thiết để tính toán độ cứng và hệ số cản của lớp.



Hình 4.27. Đồ thị dao động tắt dần của bàn trượt khi thí nghiệm xác định độ cứng và hệ số cản của lớp máy kéo theo phương tiếp tuyến

Từ đồ thị 4.27 có thể nhận thấy, dịch chuyển của bàn trượt có dạng tắt dần. Số liệu được lưu ở cả dạng số và dạng đồ thị, từ đó luận án có thể trích dẫn các số liệu cho quá trình tính toán độ cứng và hệ số cản của lớp máy kéo theo phương tiếp tuyến. Kết quả tính toán ta được $k_{2x} = 38.912$ (Ns/m); $c_{2x} = 148.471$ (N/m).

4.2.3. Xác định đồng thời mô men xoắn trên bán trục chủ động, phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo và gia tốc liên hợp máy

a. Phương pháp nghiên cứu

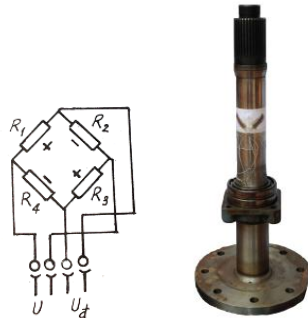
Để đo gia tốc của máy kéo và rơ moóc theo phương chuyển động, ta gắn cảm biến đo gia tốc tiêu chuẩn Kisler (hình 01) và B12/1000 (hình 2) vào vị trí phù hợp của máy kéo và rơ moóc



Hình 4.12. Cảm biến đo gia tốc

Để đo mô men xoắn trên bán trục chủ động của máy kéo, luận án tiến hành thiết kế chép hình bán trục chủ động của máy kéo, dán các lá ten rô điện trở lên bán trục chủ động, đấu nối các lá ten zô theo sơ đồ cầu đủ điện trở (hình 4.15). Sử dụng phương pháp lấy dòng phù hợp để kết nối với bộ thu thập, khuếch đại thông tin đo lường DMC Plus.

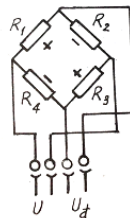
Tiến hành hiệu chuẩn khâu đo bằng phương pháp so sánh giữa giá trị mô men xoắn tính toán lý thuyết với giá trị mô men xoắn được đo bằng khâu đo tự tạo.



Hình 4.15. Sơ đồ mạch đo và bán trục chủ động

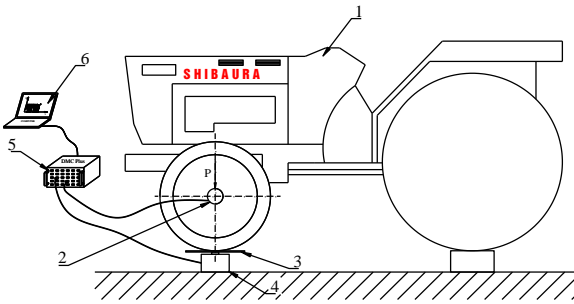
Để đo phản lực pháp tuyến của mặt đường lên cầu trước của máy kéo, luận án tiến hành dán điện trở tenzo lên vỏ cầu trước của máy kéo, đấu nối các lá ten rô điện trở theo sơ đồ cầu đủ điện trở (hình 4.20). Cầu đủ điện trở được nối với thiết bị thu thập và khuếch đại thông tin đo lường DMC Plus nối ghép máy tính.

Để hiệu chuẩn khâu đo, luận án tiến hành đặt toàn bộ bánh xe máy kéo lên cảm biến lực tiêu chuẩn (hình 4.21). Khi đó giá trị phản lực pháp tuyến từ mặt đất lên bánh xe được xác



Hình vẽ 4.20. Sơ đồ mạch đo và phương pháp dán ten rô điện trở lên vỏ cầu

định thông qua cảm biến lực tiêu chuẩn. Tiến hành điều chỉnh giá trị hệ số thích ứng (adaptation) để đồ thị của cảm biến tiêu chuẩn trùng với đồ thị của khâu đo.



Hình 4.21. Sơ đồ bố trí hiệu chuẩn khâu đo phản lực pháp tuyến

1 – Máy kéo; 2 – Cầu trước máy kéo có dán các lá điện trở; 3 – Tấm đệm; 4 – Đầu đo lực tiêu chuẩn; 5 – Thiết bị thu thập và khuếch đại thông tin đo lường; 6 – Máy tính;

b. Tiến hành thí nghiệm

Để xác định đồng thời 4 thông số: mô men xoắn trên bán trục chủ động, gia tốc của máy kéo và rơ moóc, phản lực pháp tuyến của mặt đường lên cầu trước của máy kéo, luận án tiến hành thiết lập chương trình đo bằng phần mềm DMC Labplus.

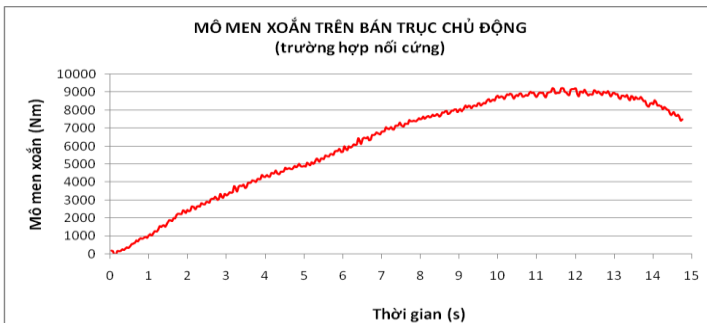
Sau khi đã thiết lập xong chương trình đo bằng phần mềm DMC Labplus ta tiến hành lắp đặt và kết nối các thiết bị đo.

Kết nối các thiết bị đo với DMC và kết nối DMC với máy tính.

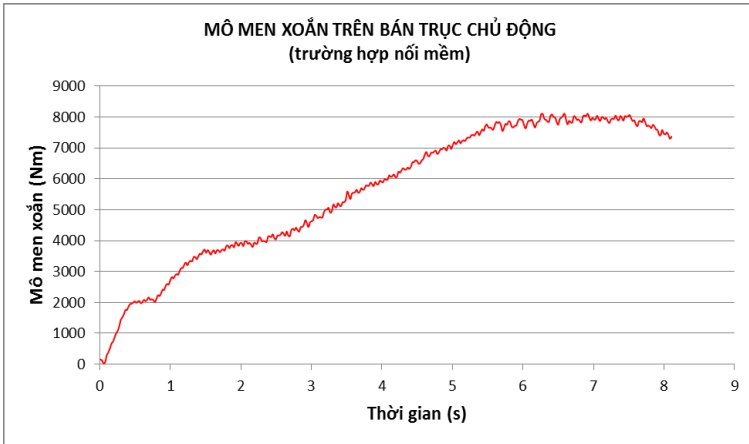
Chọn đoạn đường thí nghiệm đã được sử dụng để xác định hệ số bám và hệ số cản lăn. Độ dốc mặt đường là 0%.

Tiến hành thí nghiệm với cùng một người điều khiển trong các trường hợp khác nhau, thao tác điều khiển giống nhau để đảm bảo điều kiện thí nghiệm giống nhau trong các trường hợp.

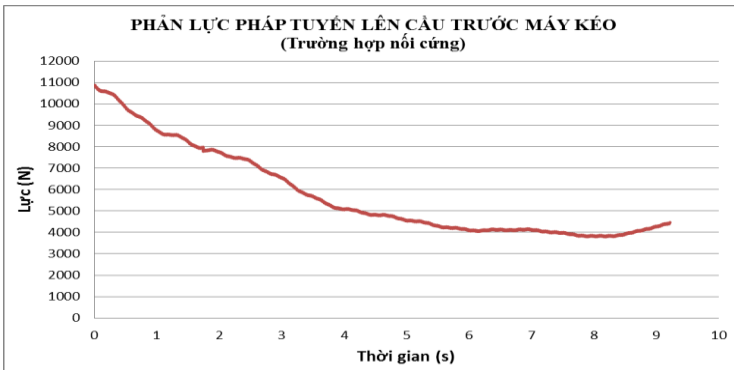
c. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm



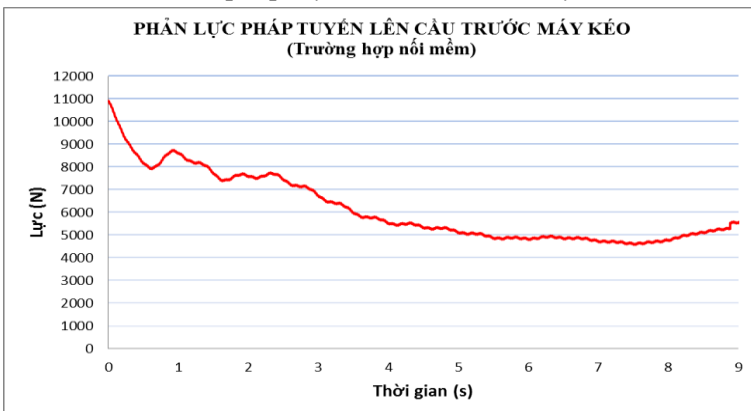
Hình 4.28. Mô men xoắn trên bán trục chủ động khi nối cứng



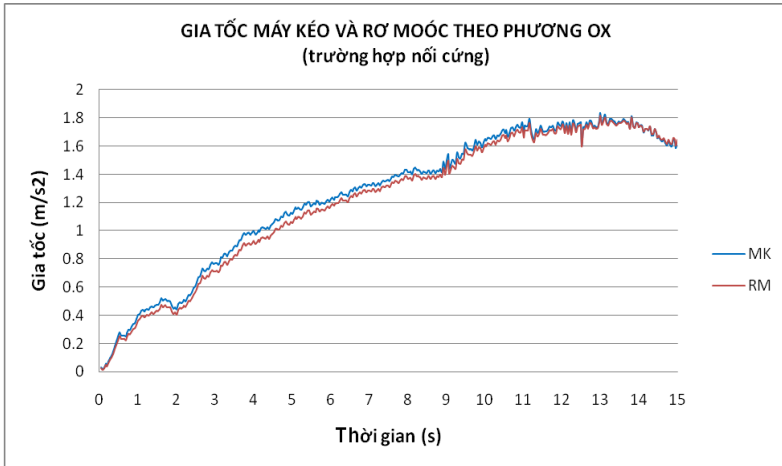
Hình 4.29. Mô men xoắn trên bán trục chủ động khi nối mềm



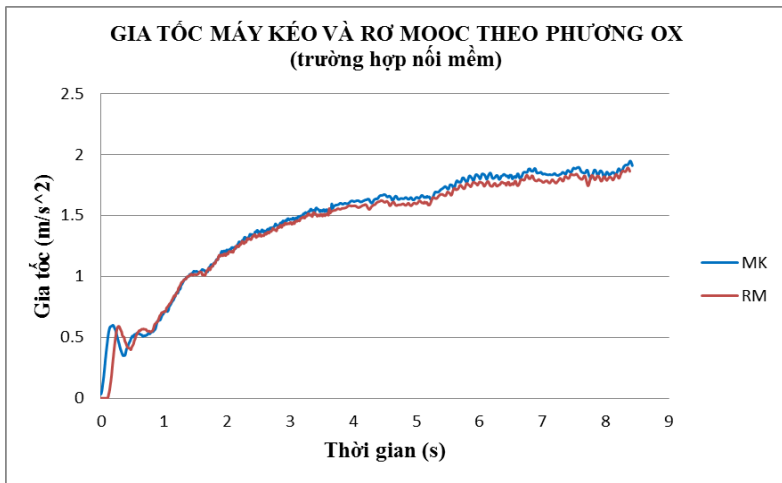
Hình 4.30. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo khi nối cứng



Hình 4.31. Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo khi nối mềm



Hình 4.32. Gia tốc của máy kéo và rơ moóc theo phương ox trong trường hợp nối cứng



Hình 4.33. Gia tốc của máy kéo và rơ moóc theo phương ox trong trường hợp nối mềm

4.5.5. Xác định hệ số trượt

Để nghiên cứu sự ảnh hưởng của khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ moóc luận án tiến hành xác định hệ số trượt của liên hợp máy trong hai trường hợp sử dụng khớp nối cứng và khớp nối mềm.

Trong giới hạn nghiên cứu, luận án tiến hành xác định hệ số trượt của liên hợp máy trong hai trường hợp:

+ Hệ số trượt khi sử dụng khớp nối cứng:

$$\delta_c = \left(1 - \frac{n_{0-c}}{n_{b-c}}\right) \cdot 100\%$$

+ Hệ số trượt khi sử dụng khớp nối mềm:

$$\delta_m = \left(1 - \frac{n_{0-m}}{n_{b-m}}\right) \cdot 100\%$$

Trong đó:

δ_c - hệ số trượt khi nối cứng tính theo %;

δ_m - hệ số trượt khi nối mềm tính theo %;

n_{0-c} - số vòng quay không tải của bánh xe chủ động khi nối cứng;

n_{0-m} - số vòng quay không tải của bánh xe chủ động khi nối mềm;

n_{b-c} - số vòng quay thực tế của bánh xe chủ động khi nối cứng;

n_{b-m} - số vòng quay thực tế của bánh xe chủ động khi nối mềm.

Kết quả thí nghiệm

Bảng 4.4. Kết quả thí nghiệm xác định hệ số trượt trường hợp sử dụng khớp nối cứng

Lần đo	n_{0-c} (vòng)	n_{b-c} (vòng)	δ_c (%)
1	736.4	817.2	9.887
2	737.6	819.5	9.994
3	734.8	822.8	10.70
Trung bình			10.192

Bảng 4.5. Kết quả thí nghiệm xác định hệ số trượt trường hợp sử dụng khớp nối mềm

Lần đo	n_{0-m} (vòng)	n_{b-m} (vòng)	δ_m (%)
1	734.4	785.2	6.470
2	735.8	781.5	5.848
3	732.9	783.8	6.494
Trung bình			6.270

Nhận xét:

Từ kết quả xác định hệ số trượt trong hai trường hợp nối cứng và nối mềm ta thấy hệ số trượt trong trường hợp nối mềm thấp hơn trường hợp nối cứng. Cụ thể: trường hợp nối cứng hệ số trượt trung bình là 10,192%, trường hợp nối mềm hệ số trượt là 6,270%.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

1. Đã xây dựng được mô hình tính toán động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ mooc một trục khi có khớp nối mềm và kể đến biến dạng theo phương tiếp tuyến của bánh xe chủ động. Đây là cơ sở để khảo sát và nghiên cứu động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh và rơ mooc một trục.

2. Đã thiết kế, chế tạo khớp nối mềm giữa máy kéo và rơ mooc với độ cứng $C_{4x} = 220.000 \text{ N/m}$ và hệ số cản $K_{4x} = 30.000 \text{ Ns/m}$ dùng cho tính toán lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm.

3. Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của khớp nối mềm tới phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo khi liên hợp máy tăng tốc theo hướng lên dốc. Kết quả cho thấy, khi có thêm khớp nối mềm sẽ làm tăng phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo. Do đó đảm bảo điều kiện lái của liên hợp máy từ độ dốc dọc tối đa là 12,5% khi nối cứng lên 19,5% khi có khớp nối mềm.

4. Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của khớp nối mềm tới quá trình phanh khi liên hợp máy xuống dốc. Kết quả cho thấy, khi sử dụng khớp nối mềm sẽ làm giảm 11,164% thời gian phanh và giảm 15,239 % quãng đường phanh so với khi sử dụng khớp nối cứng.

5. Thiết kế, chế tạo khung thí nghiệm cho phép xác định độ cứng và hệ số cản của bánh xe chủ động ; Thiết kế, chế tạo và hiệu chuẩn khâu đo cho phép đo mô men xoắn trên bán trục chủ động ; Thiết kế, chế tạo và hiệu chuẩn khâu đo cho phép xác định phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo.

6. Nghiên cứu thực nghiệm xác định được một số thông số đầu vào cho bài toán lý thuyết và kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết: Độ cứng và hệ số cản của bánh chủ động máy kéo theo phương tiếp tuyến; Hệ

số cản lăn và hệ số bám của liên hợp máy; Mô men xoắn trên bán trục chủ động của máy kéo khi làm việc; Phản lực pháp tuyến lên cầu trước máy kéo; Gia tốc máy kéo và rơ mooc khi làm việc; Độ trượt của bánh xe chủ động.

So sánh kết quả với nghiên cứu lý thuyết cho thấy, quy luật thay đổi của vận tốc, phản lực pháp tuyến giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm là giống nhau; sai số giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của phản lực pháp tuyến khi nối cứng: 6,48%; sai số của phản lực pháp tuyến khi nối mềm: 8,19%. Độ trượt của bánh xe chủ động trong trường hợp nối mềm giảm đi so với nối cứng từ 10,192% xuống còn 6,270%.

Kiến nghị

1. Qua kết quả nghiên cứu, luận án kiến nghị cần lắp thêm bộ phận nối mềm ($C_{4x} = 220.000 \text{ N/m}$; $K_{4x} = 30.000 \text{ Ns/m}$) để hoàn thiện kết cấu của liên hợp máy nhằm nâng cao khả năng hoạt động và nâng cao độ an toàn khi liên hợp máy làm việc.

2. Trong khuôn khổ của luận án, tác giả mới chỉ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số kết cấu khớp nối đến phản lực pháp tuyến tác động lên các cầu làm cơ sở xác định chế độ làm việc an toàn trên dốc dọc và hoàn thiện thiết kế liên hợp máy. Để nâng cao hiệu quả sử dụng và đảm bảo an toàn cho liên hợp máy, luận án kiến nghị cần tiếp tục các nghiên cứu tiếp theo đối với liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ mooc một trục khi có khớp nối mềm trong điều kiện mặt đường ngẫu nhiên, có kể đến sự trượt của bánh xe chủ động.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Trần Văn Tùng, “Động lực học dọc của liên hợp máy kéo bốn bánh với rơ moóc một trục”, Tạp chí Nông nghiệp và phát triển nông thôn, số 23 năm 2016, trang 132 – 139.
2. Trần Văn Tùng, “Nghiên cứu thực nghiệm xác định một số thông số động lực học của liên hợp máy kéo shibaura 3000A với rơ moóc một trục”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 9 năm 2016, trang 46 – 52.