

MÔ PHỎNG TÍNH CHẤT CHUYỂN ĐỘNG VÒNG CỦA MÁY KÉO TRÊN ĐẤT NÔNG NGHIỆP**Hàn Trung Dũng*, Bùi Hải Triều***Khoa Cơ Điện, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội**Email*: handung@hua.edu.vn*

Ngày gửi bài: 04.09.2013

Ngày chấp nhận: 10.11.2013

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu phương pháp và kết quả xây dựng mô hình mô phỏng tính chất chuyển động vòng của máy kéo bánh trên đất nông nghiệp. Mô hình mô phỏng cho phép khảo sát và tính toán các thông số đặc trưng cơ bản của quá trình chuyển động vòng của máy kéo, có tính đến ảnh hưởng của động cơ, hệ thống truyền lực và đặc biệt là tương tác bánh xe - đất nông nghiệp. Các tham số của mô hình được xác định bằng thực nghiệm. Tính tương thích và mức độ chính xác của mô phỏng được kiểm chứng bằng thí nghiệm trong điều kiện thực tế. Mô hình này góp phần rút ngắn thời gian và kinh phí nghiên cứu, thiết kế hoặc cải tiến máy kéo. Đồng thời làm cơ sở để lựa chọn chế độ sử dụng máy kéo hợp lý, an toàn và hiệu quả nhất.

Từ khóa: Chuyển động vòng, máy kéo nông nghiệp, mô hình, mô phỏng.

Modeling and Investigating the Dynamical Turning Process of the Pneumatic Tire Tractors on the Field**ABSTRACT**

This paper presents a method for establishing a general model which enables to simulate tractor's turning process and calculate its main characters in considering basic characteristics of engine, transmission system and interaction between tyre wheels and flexible base pavement. The mathematical model which describes approximatively working characters of the farm tractor, can display general image for the relation of kinetic and dynamic parameters when a farm tractor moves on the deformation ground. The boundary condition and the input parameters of the model can be defined from experimental studies. The built model has been applied in order to investigate qualitatively and quantitatively by digital computer the effects of some structure parameters and working condition on turning capacity of several popular farm tractors in Vietnam.

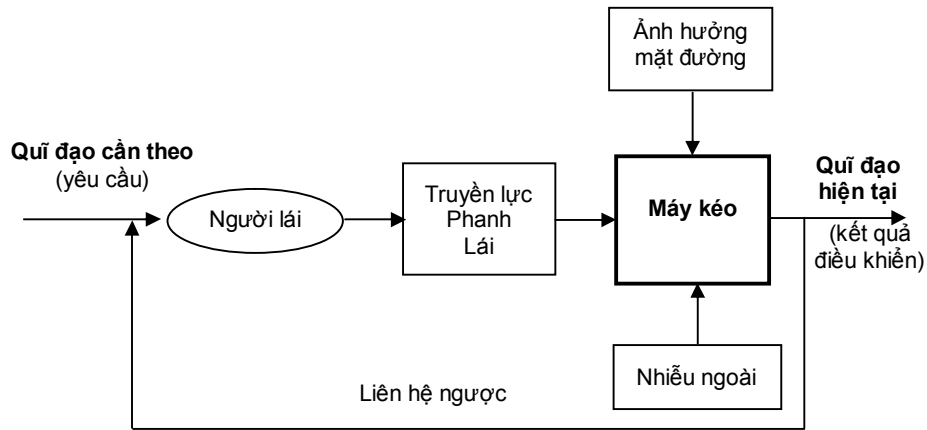
Keywords: Farm tractor, model, simulation, turning movement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tính chất chuyển động của ô tô, máy kéo là phản ứng của xe với tác động của lái xe (ví dụ sự tăng giảm vận tốc do tăng giảm ga hoặc phanh trên đường vòng), tương tác với mặt đường/đồng và tác động nhiễu từ bên ngoài. Trong lĩnh vực động lực học hướng chuyển động của xe, tính chất chuyển động được định nghĩa là tính chất tổng quát của hệ thống "Người lái - Xe - Môi trường" (Hình 1). Để nghiên cứu riêng về xe, trước hết phải nghiên cứu hệ thống hở (không có liên hệ ngược).

Khi xem xét quỹ đạo chuyển động, vấn đề luôn luôn được đặt ra dưới dạng chuyển động vòng tổng quát, trong đó chuyển động thẳng chỉ là một trường hợp đặc biệt.

Để có thể nhận biết sớm các tính chất chuyển động không mong muốn ngay trong giai đoạn thiết kế, người ta sử dụng các mô hình mô phỏng các tính chất động lực học chuyển động của máy kéo. Nhờ kỹ thuật mô phỏng, có thể rút ngắn thời gian thiết kế, bởi các phương án kết cấu và vận hành của xe đã được nghiên cứu và so sánh với nhau trên máy tính một cách kỹ càng trước khi chế tạo mẫu máy đầu tiên. Giải



Hình 1. Mô hình hệ thống điều khiển mạch kín của ô tô máy kéo (Mitschke, 2004)

pháp nói trên cũng cho phép giảm đáng kể chi phí nghiên cứu phát triển máy kéo. Ngoài ra, phương pháp mô phỏng cũng giúp tìm ra các chế độ sử dụng máy kéo hợp lý.

Bài báo này giới thiệu việc mô hình hóa và mô phỏng tính chất chuyển động của máy kéo bánh trên đất nông nghiệp, góp phần xây dựng cơ sở kiến thức về động lực học và chuyển động của máy kéo trong điều kiện sản xuất nông, lâm nghiệp ở Việt Nam.

2. MÔ HÌNH MÔ TẢ CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY KÉO TRÊN ĐẤT NÔNG NGHIỆP

Tính chất động lực học chuyển động là tính chất của máy kéo thay đổi quỹ đạo chuyển động vòng tương ứng với việc quay vô lăng lái, kể cả kết hợp với thay đổi vận tốc. Để nghiên cứu tính năng quay vòng của máy kéo bánh một cách tổng quát nhất, thường lập sơ đồ tính toán động lực học máy kéo bánh có hai cầu chủ động (sơ đồ 4x4) với các bánh xe dẫn hướng trên cầu trước. Với quan điểm tìm kiếm một mô hình sao cho số bậc tự do ít nhất có thể và tập trung nghiên cứu động lực học hướng chuyển động nên một mô hình phẳng với 3 bậc tự do đã được xây dựng (Hình 2).

Các giả thiết chính đặt ra khi xây dựng mô hình là:

1. Máy kéo chuyển động trên mặt đường/đồng bằng phẳng. Không xuất hiện thay đổi tải trọng trên các bánh xe.

2. Bỏ qua dao động thẳng đứng. Bỏ qua chuyển động vắn và chuyển động lật của thân xe.

3. Các lực tác dụng trong mặt phẳng song song với mặt đường không dốc. Bỏ qua các lực ngẫu nhiên tác dụng theo phương ngang (gió, mấp mô mặt đồng...).

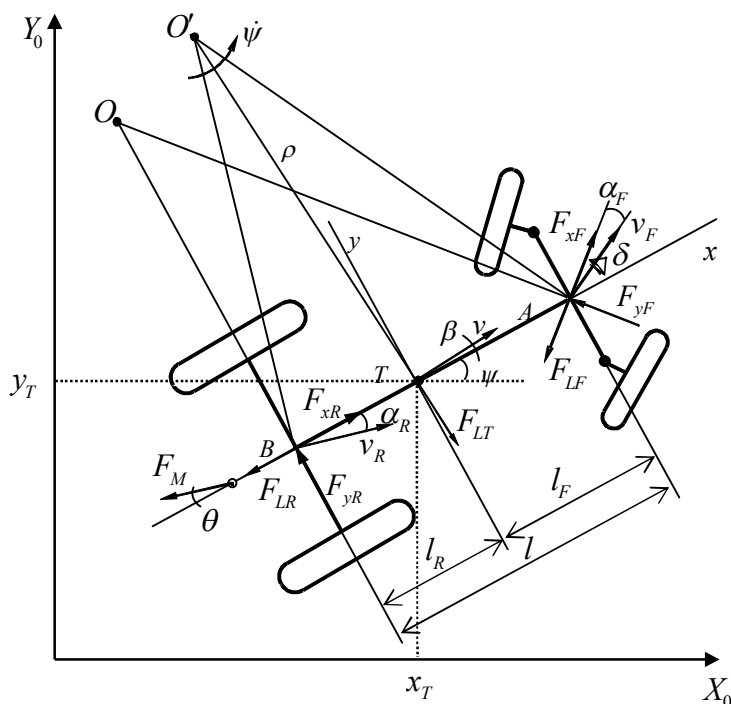
4. Qui ước góc xoay trung bình của các bánh xe dẫn hướng trước là δ . Bỏ qua các góc đặt bánh xe dẫn hướng.

Với những giả thiết trên, khi nghiên cứu động lực học theo phương ngang của máy kéo, thường sử dụng mô hình một vết (bicycle model), ở đó hai bánh xe trên một cầu được xem là một bánh xe đặt tại trung điểm vết bánh và trọng tâm bánh xe được đặt tại mặt đường (Glasner, 1987; Rajamani, 2006).

Hình 3 giới thiệu mô hình một vết với các thông số lực và hình động học tương ứng của một máy kéo hai cầu chủ động khi chuyển động trong hệ tọa độ thân xe (hệ tương đối) và hệ tọa độ mặt đồng (hệ cố định).

Áp dụng nguyên lý D'Alambe và từ phương trình chuyển động quay của các bánh xe, thành lập được các phương trình động lực học của chuyển động vòng của máy kéo trong mặt phẳng ngang:

$$\begin{cases} J_F \dot{\omega}_F = M_E \cdot i_F \cdot i - F_{XF} r_F \\ J_R \dot{\omega}_R = M_E \cdot i_R \cdot i - F_{XR} r_R \\ m \dot{v} \cos \beta = F_{XR} - F_{LR} + F_{XF} \cos \delta - F_{LF} \cos \delta - F_{YF} \sin \delta - m v (\dot{\beta} + \dot{\psi}) \sin \beta - F_M \cos \theta \\ m v \dot{\beta} \cos \beta = F_{YR} + F_{XF} \sin \delta - F_{LF} \sin \delta + F_{YF} \cos \delta - m v \dot{\psi} \cos \beta + m \dot{v} \sin \beta + F_M \sin \theta \\ J_z \dot{\psi} = (F_{XF} \sin \delta - F_{LF} \sin \delta + F_{YF} \cos \delta) l_F - F_{YR} l_R - F_M \sin \theta (l_M + l_R) - M_C + M_{zR} - M_{zF} \end{cases} \quad (1)$$



Hình 2. Mô hình mô tả tính chất chuyển động của máy kéo bánh

Hệ phương trình động lực học trên là hệ bất định. Muốn giải được, cần phải tìm cách loại khử bớt các ẩn chưa biết thông qua việc xác lập mối quan hệ động học và động lực học bổ sung. Trên cơ sở phân tích động học của từng cầu trước và sau, có thể xác định được quan hệ giữa góc chuyển động lệch của mỗi cầu phụ thuộc vào tọa độ trọng tâm, vận tốc chuyển động và tốc độ góc khi quay vòng.

Quan hệ động học có thể rút gọn:

$$\begin{cases} \alpha_R = \text{artg} \frac{l_R \dot{\psi} - v \sin \beta}{v \cos \beta} \\ \alpha_F = \delta - \text{artg} \frac{l_F \dot{\psi} + v \sin \beta}{v \cos \beta} \end{cases} \quad (2)$$

Khi mô phỏng và khảo sát một máy kéo cụ thể, nhất thiết phải tiến hành khảo nghiệm lấy đặc tính mô men của động cơ. Trên nhánh tự điều chỉnh:

$$M_E = M_{En} \frac{\omega_{E \max} - \omega_E}{\omega_{E \max} - \omega_{En}} \quad (3)$$

Trong đó, ω_E là tốc độ góc tức thời của động cơ.

Ngoài ra, cần phải thí nghiệm các bánh xe nhờ thiết bị chuyên dùng để xây dựng đặc tính bám trượt của chúng theo mô hình Burckhardt (Hàn Trung Dũng và cs., 2013). Cụ thể:

Độ trượt tổng hợp:

$$S_R = \sqrt{S_x^2 + (1 - S_x)^2 \text{tg}^2 \alpha} \quad (4)$$

Mô phỏng tính chất chuyển động vòng của máy kéo trên đất nông nghiệp

Hệ số bám tổng hợp:

$$\varphi_R = C_1(1 - e^{-C_2 S_R}) - C_3 S_R \quad (5)$$

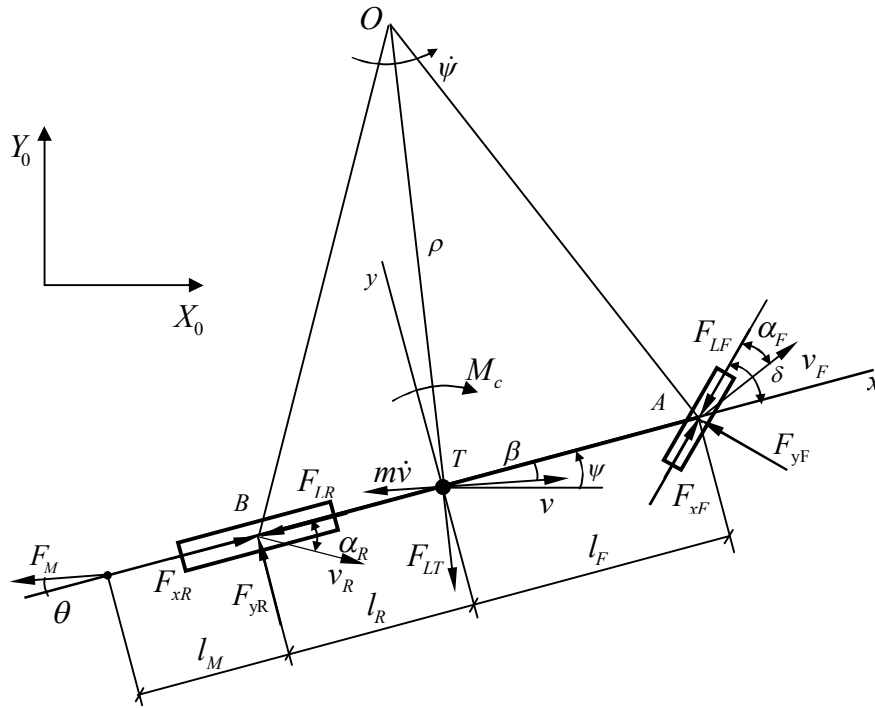
Hệ số bám dọc: $\varphi_x = \varphi_R \frac{S_x}{S_R}$

và hệ số bám ngang: $\varphi_y = \varphi_R \frac{tg\alpha}{S_R}$ (6)

Lực dọc: $F_x = \varphi_x F_z$; lực ngang: $F_y = \varphi_y F_z$

và lực cản lăn:

$$F_L = (C_0 + C_4 S_R) F_z \quad (7)$$



Hình 3. Mô hình một vết của máy kéo khi chuyển động trong hệ tọa độ mặt đồng

Chú thích:

X_0Y_0 - hệ trục tọa độ cố định

xTy - hệ trục gắn tại trọng tâm

F_{xF} - lực dọc trên cầu trước

F_{yF} - lực ngang trên cầu trước

F_{LF} - lực cản lăn trên cầu trước

F_{xR} - lực dọc trên cầu sau

F_{yR} - lực ngang trên cầu sau

F_{LR} - lực cản lăn trên cầu sau

F_M - lực cản máy nông nghiệp

F_{LT} - lực li tâm, $F_{LT} = m\nu(\beta + \psi)$

M_c - mômen cản quay vòng

M_{zF}, M_{zR} - mô men đàn hồi bánh xe

v - vận tốc chuyển động

ρ bán kính cong quỹ đạo trọng tâm

v^2/ρ - gia tốc hướng tâm

$m\nu^2/\rho$ - lực quán tính ly tâm

$m\nu$ - lực quán tính tịnh tiến

δ - góc xoay trung bình các bánh xe cầu trước

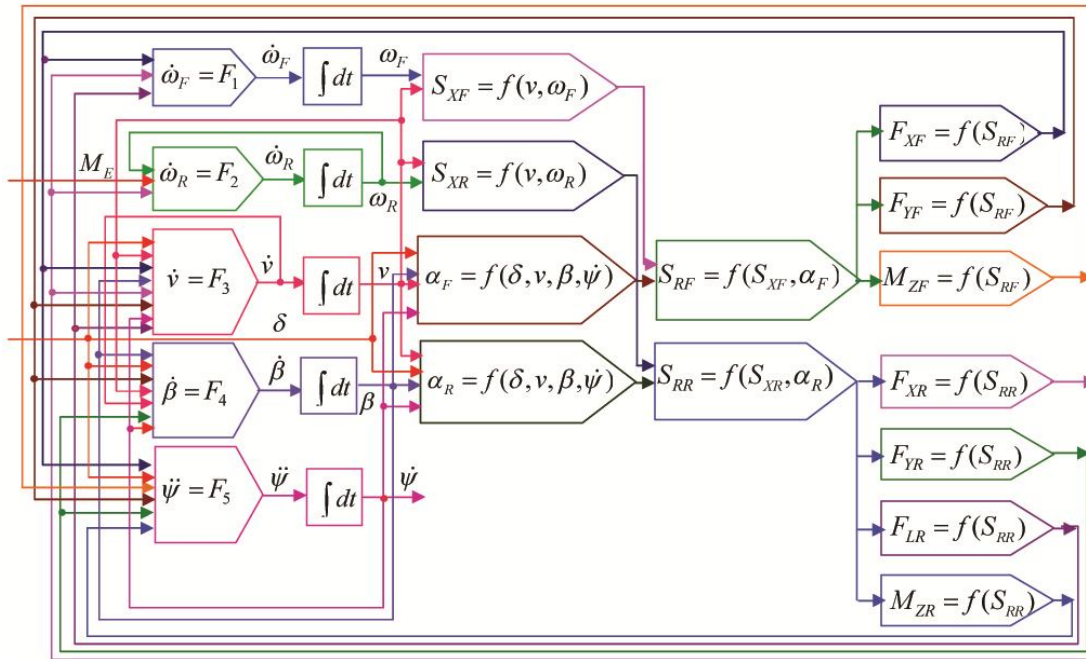
ψ - góc xoay khung xe

β - góc chuyển động lệch tại trọng tâm

$\alpha_F \alpha_R$ - góc chuyển động lệch của các cầu

l - chiều dài cơ sở của xe

l_F, l_R - tọa độ trọng tâm dọc của xe



Hình 4. Sơ đồ khối mô tả thuật toán khảo sát tính chất chuyển động của MK

Từ hệ phương trình (1), tính ra được các góc lệch bên α_F và α_R và độ trượt S_{XF} , S_{XR} , sau đó đưa vào mô hình bánh xe tương ứng để tính ra F_{XF} , F_{XR} , F_{yF} , F_{yR} , F_{LF} , F_{LR} , M_c , M_{zF} , M_{zR} . Tiếp tục đưa trở lại hệ phương trình theo các vòng lặp dần đúng liên tiếp sẽ tính ra được các thông số đặc trưng cho động học chuyển động của máy kéo như $\dot{\omega}_F$, $\dot{\omega}_R$, \dot{v} , $\dot{\beta}$ và $\dot{\psi}$. Đồng thời, khi tính được bán kính cong tức thời $\rho = v / \dot{\psi}$, dễ dàng xây dựng được quỹ đạo chuyển động của trọng tâm máy kéo.

Lưu đồ thuật giải hệ phương trình (1) được xây dựng và thể hiện trên hình 4. Từ sơ đồ khối này, có thể sử dụng phương pháp lập trình hay mô phỏng để giải trên máy tính số.

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH

Ứng dụng phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink, mô hình xây dựng đã được áp dụng để khảo sát tính chất chuyển động vòng của máy kéo MTZ-80 (CH Belarus chế tạo) trên đất ruộng gốc rạ, các bánh xe của máy kéo được mô tả theo mô hình Burekhardt sau khi thí

nghiệm lấy đặc tính bám trượt. Thông số so sánh là gia tốc ngang \dot{y} và quỹ đạo chuyển động của trọng tâm máy kéo.

Áp dụng phương pháp xác định quỹ đạo chuyển động thực tế của máy kéo nông nghiệp (Hàn Trung Dũng và Bùi Hải Triều, 2011), một số thí nghiệm kiểm chứng mô hình được tiến hành trên cùng đối tượng, cùng điều kiện hoạt động, cùng hàm tác động đánh lái và số truyền đã cho thấy kết quả mô phỏng khá chính xác với quỹ đạo chuyển động thực tế của máy kéo.

Dưới đây là so sánh kết quả tính toán khảo sát theo mô hình mô phỏng với kết quả thực nghiệm trên máy kéo MTZ-80 ở các trường hợp quay vòng điển hình trong sản xuất. Điều kiện kiểm chứng chỉ cho trường hợp máy kéo chạy không tải.

3.1. Đối chứng kết quả khi máy kéo MTZ-80 quay vòng 180° trên đất gốc rạ

Điều kiện chuyển động: $v = 6,63$ km/h; $\dot{\delta} = 0,13$ rad/s; $\delta_{max} = 20,8^\circ$. Qua so sánh kết quả mô phỏng với đặc tính thực nghiệm (Hình 5) cho thấy quỹ đạo chuyển động vòng và theo

đó là gia tốc ngang của trọng tâm máy kéo khá giống nhau cả về định tính và định lượng.

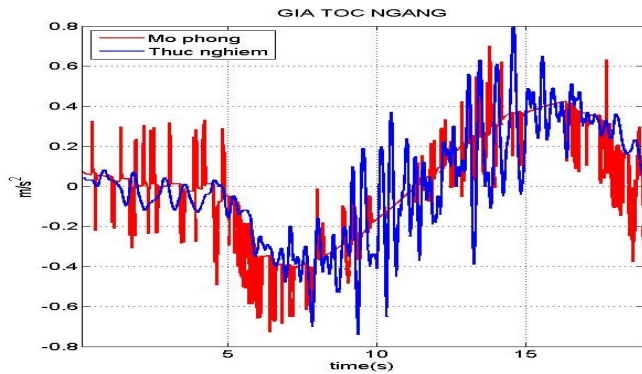
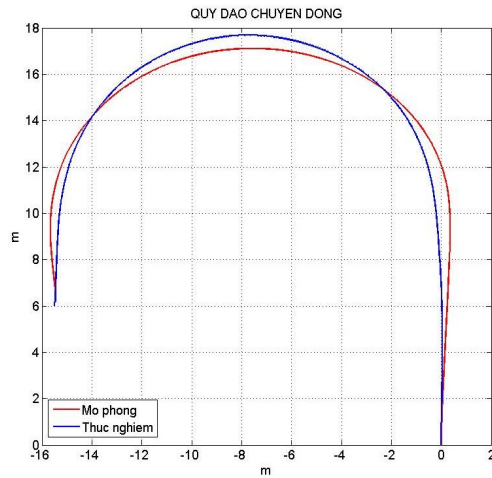
3.2. Đối chứng kết quả khi máy kéo MTZ-80 quay vòng 270° trên đất gốc rạ

Điều kiện chuyển động: $v = 6,45 \text{ km/h}$; $\dot{\delta} = 0,14 \text{ rad/s}$; $\delta_{\max} = 36,8^\circ$. Qua so sánh kết quả mô phỏng với đặc tính thực nghiệm (Hình 6) cho thấy quỹ đạo chuyển động vòng, theo đó là gia tốc ngang của trọng tâm máy kéo khá phù hợp cả về định tính và định lượng.

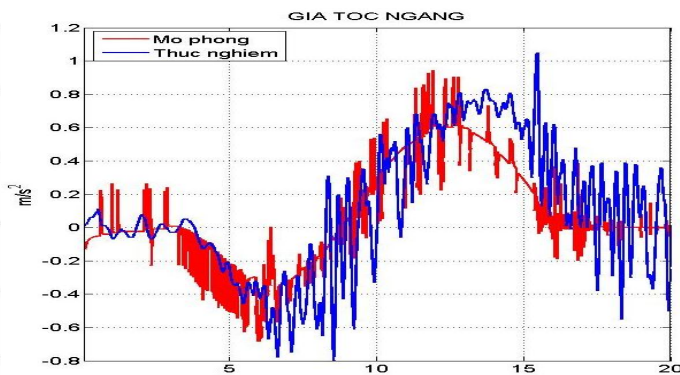
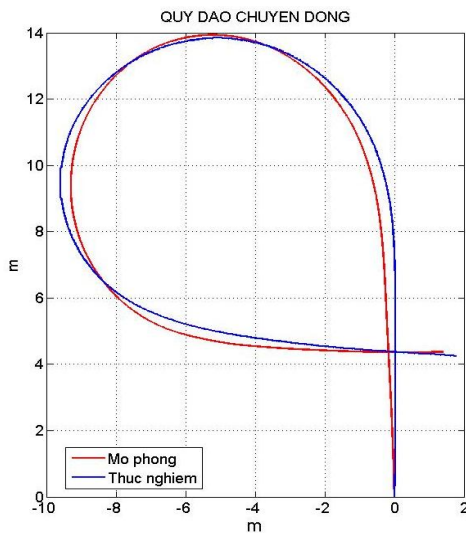
3.3. Đối chứng kết quả khi máy kéo MTZ-80 quay vòng 360° trên đất gốc rạ

Điều kiện chuyển động: $v = 7,45 \text{ km/h}$; $\dot{\delta} = 0,13 \text{ rad/s}$; $\delta_{\max} = 34,4^\circ$. Qua so sánh kết quả mô phỏng với đặc tính thực nghiệm (Hình 7) cho thấy quỹ đạo chuyển động vòng, theo đó là gia tốc ngang của trọng tâm máy kéo không sai khác nhiều cả về định tính và định lượng.

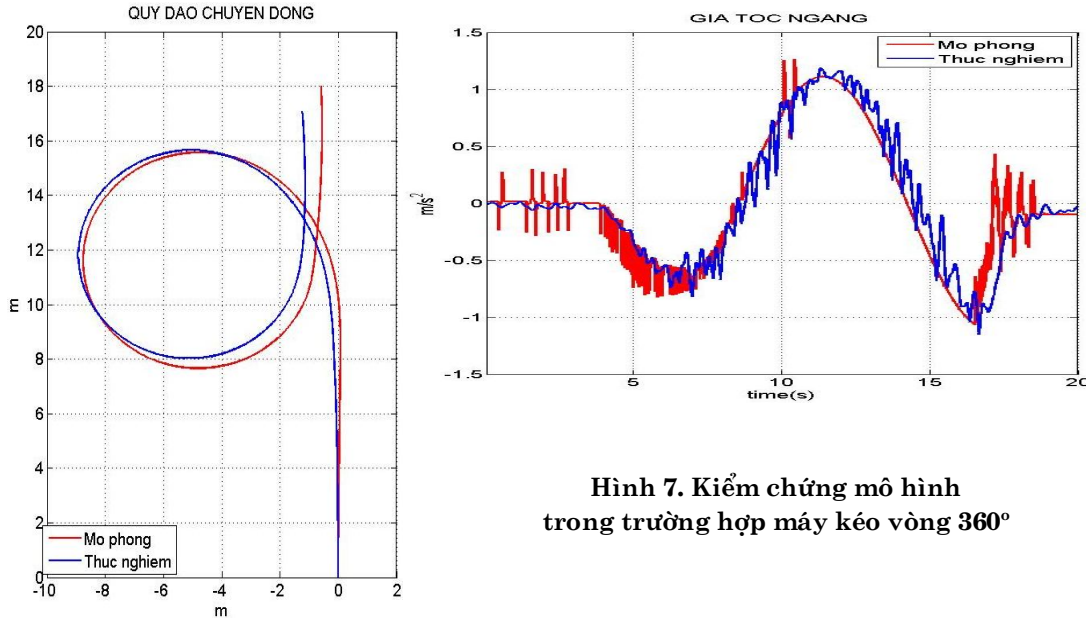
Qua so sánh đối chứng giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm tính chất chuyển động vòng của máy kéo MTZ-80 trong cùng điều kiện cho thấy, quỹ đạo chuyển động và gia tốc ngang của trọng tâm máy kéo sai lệch rất ít, chứng tỏ mô hình mô phỏng đã phản ánh trung thực các đặc trưng cơ bản của máy kéo nghiên cứu.



Hình 5. Kiểm chứng mô hình trong trường hợp máy kéo vòng 180°



Hình 6. Kiểm chứng mô hình trong trường hợp máy kéo vòng 270°



Hình 7. Kiểm chứng mô hình trong trường hợp máy kéo vòng 360°

4. KẾT LUẬN

Mô hình nghiên cứu tính chất chuyển động vòng của máy kéo nông nghiệp được xây dựng trên cơ sở tính đến các mối quan hệ phức tạp giữa động cơ-truyền lực-di động-đất đai và máy nông nghiệp thể hiện phương pháp tiếp cận mới, phù hợp với xu hướng nghiên cứu hiện đại. Mô hình toán xây dựng đã mô phỏng khá đầy đủ các đặc trưng động lực học cơ bản của quá trình quay vòng của máy kéo bánh trong điều kiện sản xuất nông nghiệp.

Bài toán quay vòng tổng quát được giải bằng ngôn ngữ mô phỏng Matlab/Simulink, cho phép lập nhiều phương án khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu cũng như điều kiện sử dụng của máy kéo đến các đặc trưng động học và động lực học cơ bản của quá trình quay vòng. Kết quả khảo sát từ mô hình mô phỏng khá phù hợp với thực nghiệm kiểm chứng trên máy thật làm việc trong điều kiện thực tế (sai lệch về bán kính cong tức thời nhỏ hơn 3%; sai lệch về gia tốc ngang nhỏ hơn 2%).

Mô hình này góp phần rút ngắn thời gian và kinh phí nghiên cứu, thiết kế hoặc cải tiến máy kéo. Đồng thời làm cơ sở để lựa chọn chế độ sử dụng máy kéo hợp lý, an toàn và hiệu quả nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hàn Trung Dũng, Bùi Hải Triều (2011). Phương pháp xác định quỹ đạo chuyển động thực tế của máy kéo nông nghiệp. Tạp chí Cơ khí Việt Nam số đặc biệt, tháng 10/2011: 38-43.
- Hàn Trung Dũng, Bùi Hải Triều, Lê Anh Sơn (2013). Ứng dụng mô hình Burckhardt để mô tả toán học đặc tính thực nghiệm của bánh xe máy kéo nông nghiệp. Tạp chí Khoa học và Phát triển, 3: 391-396.
- Mitschke, M. (2004). Dynamik der Kraftfahrzeuge. 4. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Rajesh Rajamani (2006). Vehicle Dynamics and Control, Springer 2006.
- Von Glasner E.C. (1987). Einbeziehung von Prüfstandergebnisse in die Simulation des Fahrverhalten von Nutzfahrzeugen. Habilitation, Universität Stuttgart, 1987.