

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH BURCKHARDT ĐỂ MÔ TẢ TOÁN HỌC ĐẶC TÍNH THỰC NGHIỆM CỦA BÁNH XE MÁY KÉO NÔNG NGHIỆP

Hàn Trung Dũng^{1,2*}, Bùi Hải Triều², Lê Anh Sơn²

¹*Nghiên cứu sinh Khoa Cơ điện, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội*

²*Khoa Cơ điện, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội*

Email: handung@hua.edu.vn*

Ngày gửi bài: 18.05.2013

Ngày chấp nhận: 21.06.2013

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một mô hình bánh xe máy kéo hoạt động trên đất nông nghiệp. Mô hình được phát triển trên cơ sở mô hình Burckhardt, có tính đến tương tác giữa bánh xe với mặt đường thông qua các quan hệ ứng suất – biến dạng của lớp xe và nền đất nông nghiệp trong mặt phẳng tiếp xúc. Mô hình đã mô tả toán học một cách khá chính xác đặc tính bánh xe máy kéo nông nghiệp, cho hình ảnh tổng quát về quan hệ giữa các thông số động học, động lực học như lực, góc lệch bên, độ trượt,... khi bánh xe chuyển động trên mặt đường biến dạng trong sản xuất nông, lâm nghiệp. Điều kiện biên và các thông số vào của mô hình được xác định bằng thực nghiệm.

Từ khóa: Bánh xe, máy kéo nông nghiệp, mô hình.

Development of the Burckhardt's Model for Mathematical Description of the Experimental Characters of Farm Tractor Wheels

ABSTRACT

This paper presents a model for tractor wheel worked in the agricultural condition. The model was developed on the basis of Burckhardt's model with interaction between tyre wheel and flexible base pavement. The mathematical model describes approximatively working characters of the farm tractor wheel, which can display general image for the relation of kinetic and dynamic parameters such as motive force, drift angle, slip, etc. when farm tractor wheels move on the deformation ground. The boundary condition and the input parameters of the model can be defined from experimental studies.

Keywords: Burckhardt's model, farm tractor, wheel.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để nghiên cứu động lực học chuyển động của máy kéo nông nghiệp và nhận dạng sớm các tính chất không hoàn hảo trong đặc tính chuyển động của chúng, có thể sử dụng mô hình mô phỏng (Mitschke, 2004). Một phần tử quan trọng đặc biệt của mô hình mô phỏng là mô hình bánh xe, phần tử kết nối giữa xe và mặt đồng. Bánh xe xác định một cách định lượng tính chất chuyển động của máy kéo. Trên thị trường sẵn có một số mô hình bánh xe khác nhau, tuy nhiên cơ bản chỉ là các mô hình bánh xe ô tô con. Ngoài ra cũng rất khó xác định các tham số của mô hình bởi vì đa số đều cần đến

các bộ thử đặc biệt, rất ít có cho các lốp xe có đường kính lớn.

Các nhà khoa học tại Bộ môn Động lực, trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội đã giới thiệu một mô hình bánh xe máy kéo nông nghiệp được phát triển trên cơ sở mô hình lớp HSRI với giả thiết là biến dạng đàn hồi của vết tiếp xúc là tổng biến dạng của hai phần tử đàn hồi-trượt mắc nối tiếp (Hàn Trung Dũng và cs., 2013). Tuy đã được kiểm chứng bằng cách so sánh với kết quả thí nghiệm nhưng mô hình vẫn còn tồn tại một số nhược điểm như khó lý giải cận kề về tính chất vật lý trong vùng trượt, khó tổ chức thí nghiệm để xác định các tham số...

Bài báo này giới thiệu một mô hình bánh xe được xây dựng trên cơ sở phát triển mô hình Burckhardt (Burckhardt, 1993; Rajesh Rajamani, 2006), theo đó kết hợp giữa lý thuyết Kamm (Grecenko, 1993) với các kết quả thực nghiệm theo phương dọc của bánh xe, áp dụng cho bánh xe máy kéo nông nghiệp Việt Nam. Mô hình có thể mô tả đặc tính bánh xe máy kéo nông nghiệp cả trong vùng trượt ít và cả đến khi bánh xe trượt hoàn toàn.

Các thí nghiệm xác định tham số cũng như thực nghiệm kiểm chứng mô hình đều được thực hiện trên thiết bị thí nghiệm bánh xe máy kéo do chính nhóm tác giả nghiên cứu thiết kế và chế tạo.

2. MÔ HÌNH BURCKHARDT

Theo mô hình Burckhardt, quan hệ giữa hệ số bám dọc (φ_x) và hệ số bám ngang (φ_y) với độ trượt của bánh xe được xác định theo hệ số bám tổng hợp và độ trượt tổng hợp của hai phương dọc và ngang. Dựa trên quan điểm của Kamm về tính chất bám - trượt khi xuất hiện góc lệch bên (Grecenko, 1993), quan hệ giữa hệ số bám tổng hợp (φ_R) và độ trượt theo phương tổng hợp (S_R) có thể biểu diễn theo công thức:

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

$$\text{với: } S_R = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (2)$$

Trong đó S_x , S_y , S_R lần lượt là độ trượt dọc, độ trượt ngang và độ trượt tổng hợp của bánh xe:

- Bánh xe chủ động:

$$S_{RR} = \sqrt{S_{xR}^2 + S_{yR}^2} = \sqrt{(1 - S_{xR})^2 \tan^2 \alpha_R + S_{xR}^2} \quad (3)$$

- Bánh xe bị động:

$$S_{RF} = \sqrt{S_{xF}^2 + S_{yF}^2} = \sqrt{(1 - S_{xF})^2 \tan^2 \alpha_F + S_{xF}^2} \quad (4)$$

Các hệ số thực nghiệm C_1 , C_2 , C_3 có ý nghĩa vật lý như sau:

- C_1 là giá trị lớn nhất của đường cong bám. C_1 phụ thuộc vào tính chất và điều kiện mặt đường, tải trọng pháp tuyến và kết cấu mẫu bám của bánh xe.

- C_2 đặc trưng cho hình dáng của đường cong bám, chủ yếu là độ dốc của nhánh tuyến

tính. C_2 phụ thuộc đáng kể vào loại nền đường và độ trượt của bánh xe.

- C_3 xác định sự sai khác giữa giá trị lớn nhất của đường cong bám với giá trị hệ số bám khi trượt hoàn toàn ($S_R=1$).

Hệ số bám dọc và hệ số bám ngang khi đó được tính theo công thức:

$$\varphi_x = \varphi_R \frac{S_x}{S_R} \quad \text{và} \quad \varphi_y = \varphi_R \frac{S_y}{S_R} \quad (5)$$

Các công thức (1) và (2) thỏa mãn trong toàn vùng ($0 \leq S_x; S_y \leq 1$), do đó các hệ số C_1 , C_2 , C_3 có thể được xác định dễ dàng trong trường hợp $S_y=0$. Có nghĩa là chỉ cần tổ chức thí nghiệm kéo bám để xác định độ trượt của bánh xe theo phương dọc.

Khi đó $\alpha=0$ nên $S_y=0$ và $\varphi_y=0$, do đó $S_R=S_x$ và $\varphi_R=\varphi_x$.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Thiết bị thí nghiệm và tổ chức thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện với mục đích xác định đặc tính bám - trượt của bánh xe trong các điều kiện đường/đất khác nhau và kiểm chứng kết quả mô phỏng đặc tính bánh xe máy kéo theo mô hình Burckhardt.

3.1.1. Mô tả chung về thiết bị

Đây là một thiết bị thí nghiệm di động, được liên kết sau máy kéo. Thiết bị bao gồm một khung cứng trên đó có lắp bánh xe nghiên cứu và hệ thống truyền động cho nó, kích thước của khung được thiết kế để có thể lắp được các bánh xe thí nghiệm có đường kính khác nhau. Để tạo ra lực ngang, bánh xe được lắp lệch đi so với hướng tiến một góc α , góc này có thể điều chỉnh được liên tục trong giới hạn từ 0 đến 15 độ. Bánh xe phụ phía sau chuyển động tự do dùng để hiệu chỉnh góc bù cho sự đi không thẳng của máy kéo phía trước. Tải trọng trên bánh xe thí nghiệm được tạo thành bởi trọng lượng của thiết bị và các trọng vật chất thêm. Điều chỉnh lực dọc tại vùng tiếp xúc bánh xe và đất được thực hiện bằng cách thay đổi mức ga, số truyền và lực phanh máy kéo phía trước.

Tất cả các thông số làm việc của bánh xe như tải trọng, mô men, vận tốc tiến, tốc độ quay, góc lệch, lực dọc, lực ngang được đo và ghi đồng thời nhờ hệ thống đo lường hiện đại. Các hệ thống được tính toán đảm bảo về tương ứng động học, khả năng truyền mô men, truyền lực, đảm bảo độ bền, cân bằng và ổn định khi thí nghiệm.

Thiết bị cho phép thí nghiệm đặc tính chuyển động của bánh xe chủ động và bánh xe bị động máy kéo có đường kính từ 700-1400mm, trên tất cả các loại đường/đất (Hàn Trung Dũng và cs., 2013).

3.1.2. Tổ chức thí nghiệm

Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm là bánh xe chủ động của máy kéo Yanmar-3000 có bán kính $r_{bx}=0,59m$, $p_{kk}=2kG/cm^2$, tải trọng $F_z=3085N$, làm việc trên ba loại nền là: đường

nhựa asphalt, đường đất cứng và mặt ruộng sau thu hoạch (đất góc rạ độ ẩm 75%).

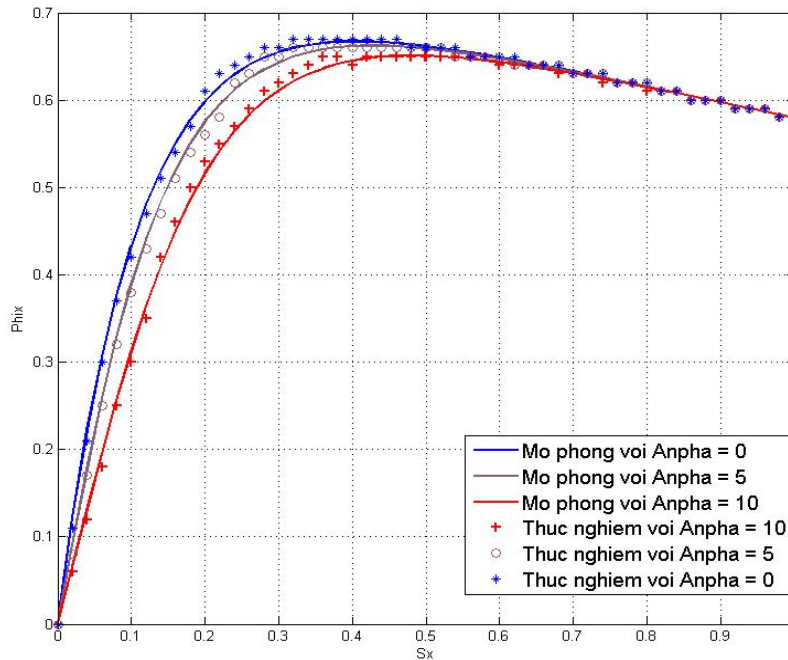
Để xây dựng đặc tính bánh xe, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố F_x , F_y , mô men chủ động, góc lệch bên... đến tính chất chuyển động và kéo bám của bánh xe, cần thiết thực hiện số thí nghiệm tối thiểu theo kế hoạch thí nghiệm giới thiệu trên bảng 1.

Các giá trị góc lệch bên α_i được thực hiện bằng cách xoay lệch bánh xe thí nghiệm so với phương dọc.

Giá trị lực F_{xi} được tạo ra bằng cách thay đổi số truyền và lực phanh của máy kéo MTZ80 để tạo ra lực cản dọc, cản chuyển động của khung thiết bị thí nghiệm do mô men chủ động của bánh xe thí nghiệm tạo ra.

Bảng 1. Ma trận thí nghiệm để xây dựng đặc tính bánh xe máy kéo

F_x	F_1	F_2	F_3	F_4
α	$=1/4F_{max}$	$=1/2F_{max}$	$=3/4F_{max}$	$=F_{max}$
$\alpha_1 = 0^\circ$	F_1, α_1	F_2, α_1	F_3, α_1	F_4, α_1
$\alpha_2 = 5^\circ$	F_1, α_2	F_2, α_2	F_3, α_2	F_4, α_2
$\alpha_3 = 10^\circ$	F_1, α_3	F_2, α_3	F_3, α_3	F_4, α_3
$\alpha_4 = 15^\circ$	F_1, α_4	F_2, α_4	F_3, α_4	F_4, α_4



Hình 2. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên ruộng góc rạ



Hình 1. Ảnh chụp thiết bị đang thí nghiệm tại khu ruộng của Khoa Nông học, Đại học Nông nghiệp Hà Nội

3.2. Kết quả thí nghiệm và xác định các hệ số của mô hình bánh xe

Từ các kết quả thí nghiệm, có thể xác định các hệ số trong công thức Burckhardt theo ý nghĩa vật lý của từng hệ số.

Hệ số C1 và C3 được xác định trực tiếp bằng giá trị số theo các đường cong. Riêng hệ số C2 phải thực hiện các phép hồi qui lặp gần đúng dần.

Các giá trị hệ số bám cực đại và hệ số bám tại thời điểm trượt hoàn toàn của bánh xe được lấy chính xác theo số liệu thực nghiệm, còn hình dáng của đường cong cũng như giá trị của hệ số bám dọc và hệ số bám ngang tương ứng với các góc lệch bên thì sai lệch không đáng kể về định lượng.

Hình 2 là một minh họa về đặc tính bám trượt của bánh xe YM-3000 khi làm việc trên nền ruộng gốc rạ với điều kiện đã nêu trên.

Kết quả xác định các hệ số nói trên cho một số trường hợp mặt đường đã tiến hành thí nghiệm được trình bày trên bảng 2.

Bảng 2. Các hệ số theo mô hình Burckhardt của bánh xe chủ động máy kéo Yanmar 3000

Loại đường	C ₁	C ₂	C ₃
Đường Asphalt	0,84	23	0,12
Đường đất	0,79	12	0,15
Mặt ruộng gốc rạ	0,76	9	0,18

3.3. Phát triển mô hình Burckhardt cho bánh xe máy kéo nông nghiệp

Hình 3 giới thiệu lưu đồ thuật toán mô tả toán học đặc tính bánh xe theo mô hình Burckhardt.

Sau khi nhập các hệ số C₁, C₂ và C₃ của mô hình bánh xe trên mỗi loại đường, với mỗi trường hợp góc chuyển động lệch α khác nhau, thực hiện mô phỏng SIMULINK trên cơ sở các công thức của mô hình Burckhardt, theo sơ đồ khối ở hình 3, chúng ta dễ dàng nhận được đặc tính bám trượt theo hai phương dọc (φ_x-S_x) và ngang (φ_y-S_y) của bánh xe máy kéo (Hình 4).

3.3.1. Nhận xét đặc tính bám - trượt trên đường nhựa asphalt (Hình 4)

Khi bánh xe YM-3000 làm việc trên đường nhựa asphalt khô, góc đặt α=0 thì hệ số bám dọc khá lớn, φ_{xmax}=0,82 tương ứng với độ trượt S_x khoảng 20%. Sau đó nếu tiếp tục tăng lực dọc thì độ trượt tăng nhanh và hệ số bám giảm nhiều do hiện tượng trượt lúc này không chỉ đơn thuần do biến dạng của lốp mà còn xuất hiện trượt tại vết tiếp xúc, đến khi bánh xe trượt hoàn toàn, φ_x chỉ còn khoảng 0,7, giảm tới 12%.

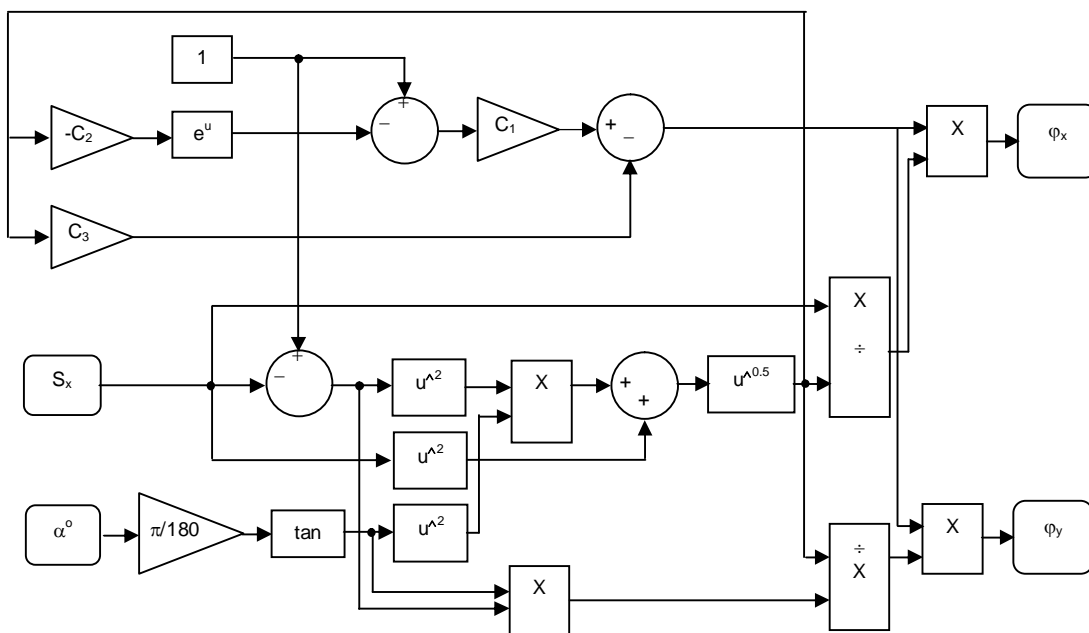
Nếu tăng góc chuyển động lệch, đường cong φ_x trong giai đoạn đầu sẽ ngả hơn và φ_{xmax} cũng giảm đáng kể. Điều này là do lực bám ngang tăng làm bám dọc kém đi, hoàn toàn phù hợp với học thuyết Kamm: $\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq \varphi_r F$

3.3.2. Đặc tính bám - trượt của bánh xe trên đất ruộng gốc rạ

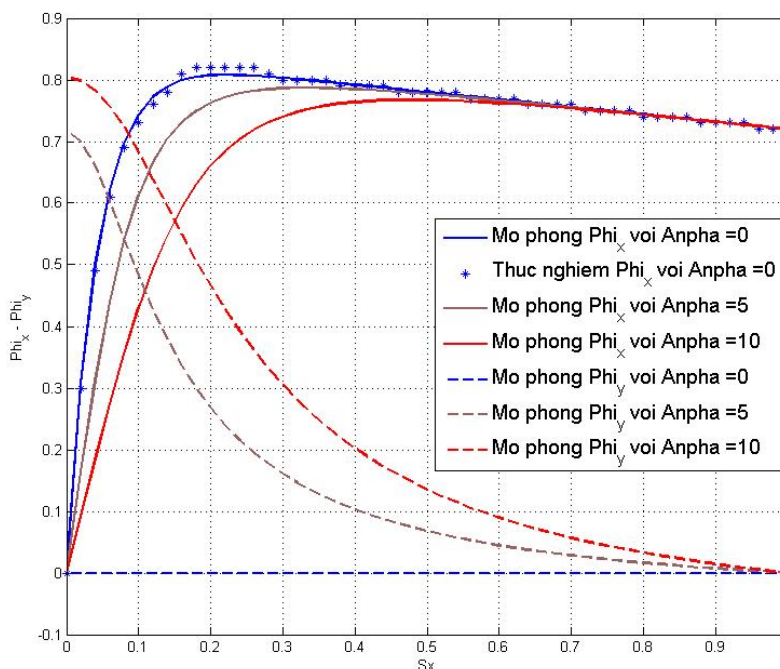
Trên đất ruộng gốc rạ có độ ẩm cao, khả năng bám của bánh xe giảm đi rõ rệt, ngay cả khi α=0 thì φ_{xmax} cũng chưa đạt 0,7 và độ trượt tăng khá nhanh khi tăng lực dọc (Hình 5). Hiện tượng này có thể giải thích là do vùng bám hẹp hơn và vùng trượt rộng hơn khá nhiều so với khi bánh xe làm việc trên đường asphalt. Mặt khác, đường cong φ_x cũng rất thoải do có sự biến dạng của cả bánh xe và của đất. Giá trị lớn nhất của φ_x tương ứng ở độ trượt tới 35%, sau đó giảm khá nhanh khi tăng lực dọc vì lúc đó xuất hiện trượt tương đối giữa bánh xe và đất ở mức độ lớn. Đáng chú ý của các đường bám ngang φ_y cũng có thể được giải thích một cách tương tự. Tuy nhiên khả năng bám ngang của bánh xe trên đất nông nghiệp kém hơn hẳn so với bám dọc.

Từ kết quả nghiên cứu thể hiện trên các hình 2,4 và 5, có thể nhận thấy, đặc tính bánh xe máy kéo xây dựng theo mô hình Burckhardt đã mô tả khá chính xác các quan hệ thực nghiệm giữa lực và biến dạng theo các phương trong mặt phẳng tiếp xúc của bánh xe với mặt đường.

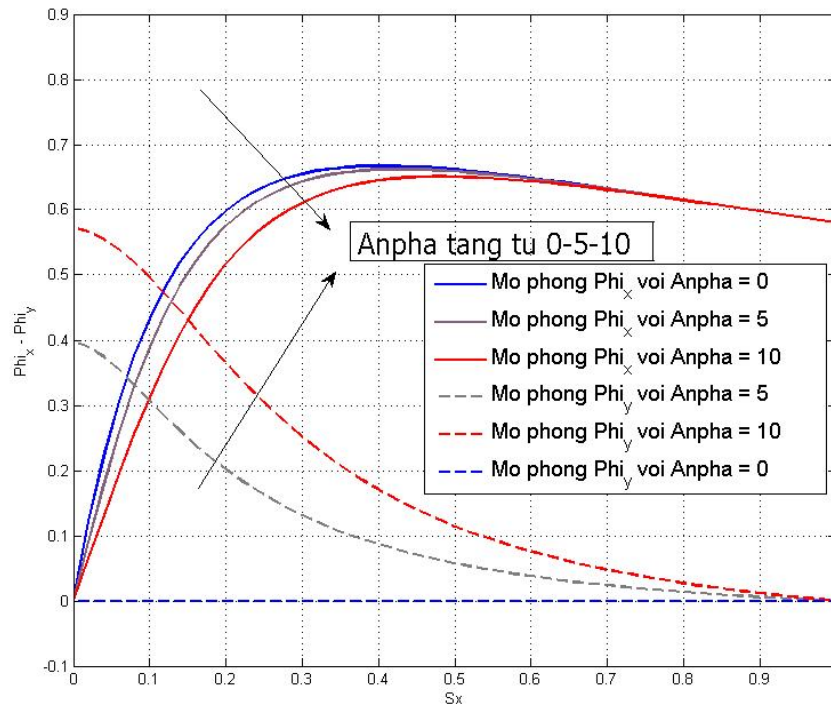
Các kết quả nhận được phản ánh hoàn toàn đúng bản chất vật lý và qui luật làm việc của bánh xe máy kéo trên đường cứng cũng như trên đường biến dạng là đất nông nghiệp. Đồng thời cũng phù hợp với các kết quả nghiên cứu tương tự ở nước ngoài.



Hình 3. Sơ đồ khối SIMULINK mô tả đặc tính bánh xe máy kéo theo Burckhardt



Hình 4. Đặc tính bám trượt trên đường asphalt



Hình 5. Đặc tính bám trượt trên đất gồ rạ

4. KẾT LUẬN

Ngoài chỉ tiêu độ chính xác và độ tin cậy, mô hình bánh xe còn được đánh giá bởi số lượng tối thiểu các tham số mô hình cần xác định. Các tham số cần xác định của mô hình Burckhardt, tuy chỉ có 3 tham số, nhưng đều có một cơ sở và ý nghĩa vật lý và có thể xác định thuận tiện bằng thiết bị thí nghiệm bánh xe của bộ môn Cơ khí Động lực, trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội.

Mô hình bánh xe Burckhardt được xây dựng trên MATLAB/SIMULINK với hai thông số vào là độ trượt dọc S_x và góc lệch bên α như là một mô đun cơ sở cho mô hình toàn xe để nghiên cứu tính chất chuyển động của máy kéo và máy nông nghiệp tự hành.

Để nghiên cứu toàn diện về tính chất chuyển động của máy kéo với các điều kiện làm việc khác nhau trong sản xuất nông, lâm nghiệp, cần thiết xây dựng bộ số liệu về đặc tính bám – trượt của một số loại bánh xe máy kéo thông dụng trên các loại mặt đường/đất nông nghiệp điển hình. Kiến thức về đặc tính bánh xe

máy kéo nông nghiệp sẽ là cơ sở khoa học quan trọng cho việc nghiên cứu thiết kế và phát triển máy kéo ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Mitschke, M. (2004). *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. 4. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Hàn Trung Dũng, Bùi Hải Triều (2013). Phát triển mô hình bánh xe máy kéo nông nghiệp. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam số đặc biệt*, tháng 1/2013: 186-189.
- Burckhardt, M. (1993). *Fahrwerktechnik: Radschlupfregelsysteme*, Vogel-Verlag, Germany, 1993.
- Rajesh Rajamani (2006). *Vehicle Dynamics and Control*, Springer 2006.
- Grečenko, A. (1993). Das Slip-Drift-Modell des Rades anwendbar für weiche oder starre Fahrbahn. *Reifen - Fahrwerk - Fahrbahn*. VDI Berichte, No.1088: 99-108.
- Hàn Trung Dũng, Bùi Hải Triều (2013). Thiết bị thí nghiệm để xây dựng đặc tính bánh xe máy kéo nông nghiệp. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam số đặc biệt*, tháng 1/2013: 199-203.