

# MÔ HÌNH TÍNH TOÁN CÁC CHỈ TIÊU KÉO BÁM CỦA BÁNH XE CÓ MẪU KHI LÀM VIỆC TRÊN NỀN ĐẤT YẾU

Triệu Anh Tuấn<sup>1</sup>, Đậu Thế Nhu<sup>2</sup>, Lê Đức Quảng<sup>3</sup>

## TÓM TẮT

Trong bài viết này trình bày một phương pháp tính toán các chỉ tiêu kéo bám của bánh xe có mẫu khi làm việc trên nền đất yếu. Mô hình cho phép khảo sát nhiều yếu tố ảnh hưởng đến các chỉ tiêu kéo bám, trên cơ sở đó có thể lựa chọn được kết cấu bánh xe và chọn chế độ sử dụng hợp lý với các điều kiện sử dụng khác nhau. Điểm mới trong mô hình là đã xem xét đến sự trượt tương đối giữa các phần tử đất và bề mặt làm việc của mẫu bám, cho phép tính được hiệu suất kéo và hệ số cản của bánh xe. Các kết quả nghiên cứu góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học để tính toán thiết kế các bánh xe chủ động cho các máy kéo làm việc trên các ruộng trồng lúa nước ở nước ta.

Từ khóa: Máy kéo, tính chất kéo bám của bánh xe, trên nền đất yếu.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong cơ giới hóa sản xuất lúa nước, các liên hợp máy kéo phải thường xuyên chuyển động trên các nền đất yếu, khi đó đòi hỏi hệ thống di động phải có tính năng kéo bám tốt mới nâng cao được hiệu quả sử dụng.

Tính chất kéo bám thường được đánh giá bởi các chỉ tiêu: Độ trượt  $\delta$ , hệ số bám  $\varphi$ , hệ số cản lăn  $f$  và hiệu suất kéo  $\eta_k$ . Trong đó hiệu suất kéo là chỉ tiêu đánh giá tổng hợp nhất. Khi nghiên cứu một loại bánh xe cụ thể, cần xác định lực bám  $F_\varphi$ , lực cản  $F_f$  và vùng lực kéo hữu ích. Các chỉ tiêu này phụ thuộc vào nhiều yếu tố và có ảnh hưởng lẫn nhau. Các quan hệ này rất phức tạp, đặc biệt là khi làm việc trên đất nền yếu. Vì thế, việc nghiên cứu các chỉ tiêu kéo bám nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng các liên hợp máy kéo là cần thiết, góp phần phát triển cơ giới hóa vùng trồng lúa nước ở nước ta.

Dưới đây là mô hình tính toán các chỉ tiêu kéo bám của bánh xe có mẫu nhằm góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học để thiết kế, chế tạo các bánh xe máy kéo và lựa chọn chế độ sử dụng hợp lý các liên hợp máy trên nền đất yếu.

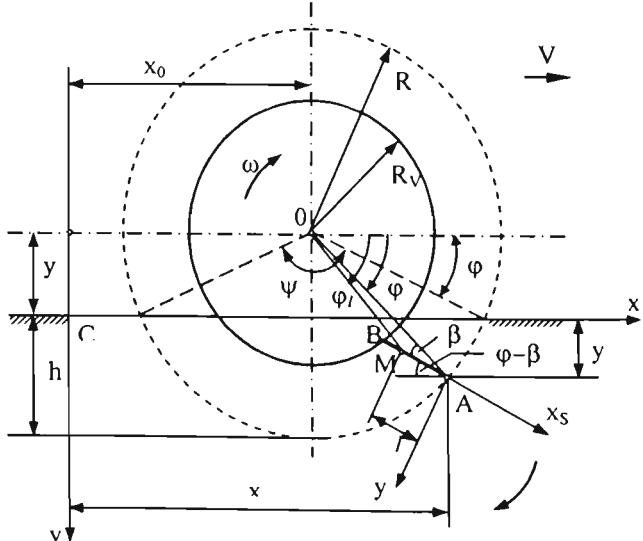
## II. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 1. Các thành phần lực và mô men tác động lên mẫu bám của bánh xe

#### a. Xác định quãng đường dịch chuyển của phần tử đất trên mẫu bám

Sự tác động của các mẫu bám làm cho đất bị biến dạng, dịch chuyển và gây ra sự trượt của bánh xe, đồng thời xuất hiện các ứng suất trong đất tạo ra các phản lực tác dụng lên các mẫu bám. Vì thế, nếu xác định được độ dịch chuyển của các phần tử đất ta sẽ xác định được các thành phần lực và độ trượt.

Trên hình 1 là sơ đồ động học của bánh xe có mẫu chuyển động trên nền đất yếu. Trong đó hệ tọa độ tuyệt đối (hay hệ tọa độ cố định) là  $xCy$ , có gốc tọa độ đặt tại mặt đất; hệ tọa độ tương đối (hay hệ tọa độ di động) là  $x_SAy_S$  có gốc tọa độ đặt tại đinh mẫu bám (điểm A), trục  $x_S$  cùng phương với mẫu bám, trục  $y_S$  vuông góc với mặt mẫu bám.



Hình 1. Sơ đồ động học của bánh xe có mẫu bám

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên;

<sup>2</sup> TS. Viện Cơ điện Nông nghiệp và CNSTH;

<sup>3</sup> Trường Cao đẳng nghề Cơ khí Nông nghiệp Vĩnh Phúc.

Tọa độ tuyệt đối của điểm M bất kỳ trên mảnh bám có thể xác định theo công thức:

$$\begin{aligned}x_M &= x_0 + R \cos \varphi - l \cos(\varphi - \beta) \\y_M &= y_0 + R \sin \varphi - l \sin(\varphi - \beta)\end{aligned}\quad (1)$$

Lấy đạo hàm của công thức (1) theo thời gian và qua một vài biến đổi ta nhận được các thành phần vận tốc tuyệt đối của điểm M:

$$\begin{aligned}X_m &= \omega R(1 - \delta) - R \omega \sin \varphi + l \omega \sin(\varphi - \beta) \\Y_m &= R \omega \cos \varphi - l \omega \cos(\varphi - \beta)\end{aligned}\quad (2)$$

Trong đó:  $\delta$  - độ trượt của bánh xe;  $\omega$  - tốc độ quay của bánh xe.

Chiều các véc tơ vận tốc  $X_m$ ,  $Y_m$  theo phương pháp tuyến và tiếp tuyến của mảnh (phương  $x_s$  và  $y_s$ ) ta nhận được các thành phần vận tốc tương đối:

$$\begin{aligned}X_s &= \omega R(1 - \delta) \cos(\varphi - \beta) - R \omega \sin \beta \\Y_s &= \omega R(1 - \delta) \sin(\varphi - \beta) + R \omega \cos \beta - l \omega\end{aligned}\quad (3)$$

Qua đó cho thấy vận tốc  $X_s$  không phụ thuộc vào vị trí điểm khảo sát trên mảnh bám.

Sự chuyển động tương đối của một điểm trên mảnh có thể phân tích thành 2 thành phần:

- Thành phần vuông góc với mặt mảnh  $y_s$  tạo ra ứng suất pháp tuyến  $\sigma$  trong đất;

- Thành phần dọc theo mảnh  $x_s$  tạo ra ứng suất tiếp tuyến  $\tau$  trong đất.

Thành phần  $y_s$  được xác định như sau:

Giả sử tại thời điểm  $t$  mảnh bám ở vị trí 1 (Hình 2) và tại thời điểm  $(t + dt)$  mảnh ở vị trí 2.

Chiều dài mảnh ngập sâu vào đất tại thời điểm  $t$  là  $l_{n(t)}$  và tại thời điểm  $(t + dt)$  là  $l_{n(t+dt)}$  có mối quan hệ như sau:

$$l_{n(t+dt)} = l_{n(t)} + dl_1 + dl_2$$

Trong đó:  $dl_1$  - phần đầu mảnh bám tiến sâu thêm vào trong đất;

$$dl_1 = X_s dt = [\omega R(1 - \delta) \cos(\varphi - \beta) - R \omega \sin \beta] dt \quad (4)$$

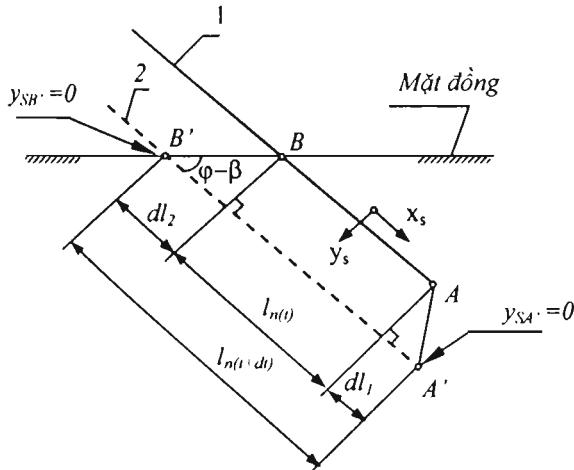
$dl_2$  - phần mảnh bám mới bổ sung ngập vào trong đất.

Chiều dài  $l_{n(t)}$  được xác định dựa trên hình 3:

$$l_{n(t)} = \frac{R \sin \varphi - h}{\sin(\varphi - \beta)} \quad (5)$$

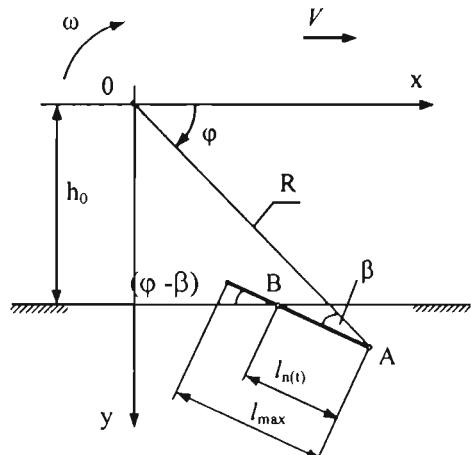
Chiều dài  $l_{n(t+dt)}$  có thể được xác định theo công thức:

$$l_{n(t+dt)} = l_{n(t)} + l_{n(t)} dt = \frac{R \sin \varphi - h}{\sin(\varphi - \beta)} + \frac{R \varphi \cos \varphi \sin(\varphi - \beta) - (R \sin \varphi - h) \varphi \cos(\varphi - \beta)}{\sin^2(\varphi - \beta)} dt \quad (6)$$



Hình 2. Sơ đồ biến dạng của đất

1. Vị trí mảnh bám tại thời điểm  $t$ ;
2. Vị trí mảnh bám tại thời điểm  $(t + dt)$



Hình 3. Sơ đồ xác định chiều dài phần mảnh bám ngập vào đất tại thời điểm  $t$

Như vậy ta thu được một hệ 3 phương trình:

$$\begin{cases} dl_1 = [\omega R(1-\delta) \cos(\varphi - \beta) - R\omega \sin \beta] dt; \\ l_{n(t)} = \frac{R \sin \varphi - h}{\sin(\varphi - \beta)}; \\ dl_2 = l_{n(t+dt)} - l_{n(t)} - dl_1. \end{cases} \quad (7)$$

Để tiện cho việc tính toán ta có thể đổi biến thời gian t trong các phương trình (3) và (7) sang biến góc quay  $\varphi$ :

$$\begin{cases} \frac{dx_s}{d\varphi} = R(1-\delta) \cos(\varphi - \beta) - R \sin \beta \\ \frac{dy_s}{d\varphi} = R(1-\delta) \sin(\varphi - \beta) + R \cos \beta - l \\ \frac{dl_1}{d\varphi} = R(1-\delta) \cos(\varphi - \beta) - R \sin \beta \\ dl_2 = dl_n - dl_1 \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó:

$$dl_n = l_{n(t+dt)} - l_{n(t)} \quad (9)$$

Từ hệ phương trình (8) ta có thể xác định được các biến  $y_s(\varphi, l); x_s(\varphi)$ .

Quãng đường nén đất của điểm M trên mấu bám (cách đỉnh mấu một đoạn  $l$ ) được xác định theo công thức:

$$y_s(l) = \int_{\varphi_0}^{\varphi_l} dy_s \quad (10)$$

b. Tính các thành phần lực pháp tuyến và lực tiếp tuyến:

#### Thành phần lực pháp tuyến:

Cường độ phân bố lực pháp tuyến trên 1 đơn vị chiều dài của mấu có bề rộng b là:

$$p(l, \varphi) = \frac{dF_{nm}}{dx_s} = b\sigma_0 th\left(\frac{k}{\sigma_0} y_s\right) \quad (11)$$

Từ công thức (10) ta có thể xác định được lực pháp tuyến của mấu:

$$F_{nm}(\varphi) = \int_0^{\ln} p(l, \varphi) dl = \int_0^{\ln} b\sigma_0 th\left(\frac{k}{\sigma_0} y_s\right) dl; \quad (12)$$

Trong đó:  $\sigma_0$  - ứng suất giới hạn trong đất khi nén một trục;  $k$  - hệ số biến dạng thể tích của đất.

$$dF_{nv} = -BR_v(\tau_0 + \sigma \tan \gamma).th\left\{\frac{k_r}{(\tau_0 + \sigma * \tan \gamma)} [-R_v(1-\delta)(\cos \varphi - \cos \varphi_0) + R_v(\varphi - \varphi_0)]\right\} d\varphi$$

#### Thành phần lực tiếp tuyến:

Tổng phản lực tiếp tuyến được xác định bởi công thức:

$$F_{tm}(\varphi) = \int_0^{\ln} \tau(l, \varphi) bdll \quad (13)$$

Trong đó:  $\tau$  là ứng suất tiếp tuyến :

$$\tau = (\tau_0 + \sigma tg \gamma) \quad (14)$$

$\tau_0$  - ứng suất dính;  $\sigma$  - ứng suất pháp;  $\gamma$  - góc ma sát của đất với mấu bám.

Từ các phản lực pháp tuyến  $F_{nm}$  và  $F_{tm}$  ta có thể xác định lực kéo theo phương chuyển động x và lực nâng theo phương thẳng đứng y:

$$\begin{aligned} F_{xm} &= -F_{tm} \cos(\varphi - \beta) + F_{nm} \sin(\varphi - \beta) \\ F_{ym} &= F_{tm} \sin(\varphi - \beta) + F_{nm} \cos(\varphi - \beta) \end{aligned} \quad (15)$$

Và mô men cản trên trực bánh xe:

$$M_{km} = \int_0^{\ln} ((p(R - \cos \beta - l)b - \tau R \sin \beta) dl) \quad (16)$$

#### 2. Các thành phần lực và mô men tác dụng lên vành bánh xe

Phân tích tương tự như quá trình tương tác giữa mấu bám và đất ta thu được hệ công thức tính toán các thành phần lực và mô men tác dụng lên vành bánh xe như sau:

Lực kéo, lực nâng và mô men cản được tính theo các công thức:

- Thành phần lực kéo:

$$F_{xv} = \int_{\varphi_0}^{\varphi} (-dF_{nv} \sin \varphi + dF_{nm} \cos \varphi) \quad (17)$$

- Thành phần lực nâng:

$$F_{yv} = \int_{\varphi_0}^{\varphi} (-dF_{nv} \cos \varphi - dF_{nm} \sin \varphi) \quad (18)$$

- Mô men cản:

$$M_v = \int_{\varphi_0}^{\varphi} (-dF_{nv} R_v) \quad (19)$$

Trong đó:

$$dF_{xm} = -BR_v \sigma_0 th \left[ \frac{k_\sigma}{\sigma_0} R_v (1-\delta) (\sin \varphi - \sin \varphi_0) \right] d\varphi$$

### 3. Phản lực và mô men trung bình tác dụng lên bánh xe

Các thành phần phản lực và mô men cản do một mấu bám tạo ra được xác định theo các công thức từ (15), (16) là các giá trị tức thời thay đổi theo góc quay  $\varphi$ . Trên hình 4 là đồ thị minh họa sự thay đổi lực kéo  $F_{xm}$  theo góc quay  $\varphi$ .

Giá trị trung bình của lực kéo  $\bar{F}_{xm}$  do z mấu tạo ra được xác định theo các công thức sau :

$$\bar{F}_{xm} = \frac{zS_i}{2\pi} \quad (20)$$

Trong đó:  $S_i$  là phần diện tích tương đương với công do một mấu tạo ra trong một vòng quay:

$$S_i = \int_{\varphi_0}^{\pi-\varphi_0} F_{xm}(\varphi) d\varphi$$

Thay vào (20) ta nhận được :

$$\bar{F}_{xm} = \frac{z}{2\pi} \int_{\varphi_0}^{2\pi-\varphi_0} F_{xm}(\varphi) d\varphi \quad (21)$$

Một cách tương tự ta tính được thành phần phản lực theo phương y và mô men cản:

$$\bar{F}_{ym} = \frac{z}{2\pi} \int_{\varphi_0}^{2\pi-\varphi_0} F_{ym}(\varphi) d\varphi \quad (22)$$

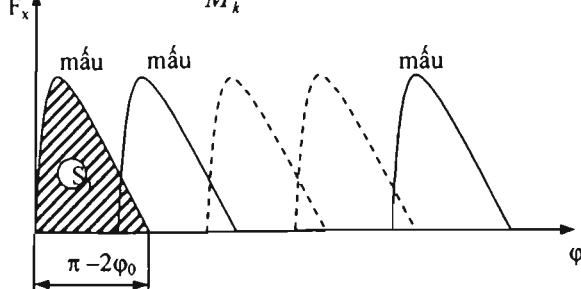
$$\bar{M}_{km} = \frac{z}{2\pi} \int_{\varphi_0}^{2\pi-\varphi_0} M_{km}(\varphi) d\varphi \quad (23)$$

Tổng hợp các lực và mô men trên bánh xe ta nhận được:

$$\begin{aligned} \bar{F}_x &= \bar{F}_{xm} + F_{xv} \\ \bar{F}_y &= \bar{F}_{ym} + F_{yv} \\ \bar{M}_k &= \bar{M}_{km} + M_{kv} \end{aligned} \quad (24)$$

Hiệu suất kéo của bánh xe được xác định theo công thức:

$$\eta_k = \frac{\bar{F}_x R(1-\delta)}{\bar{M}_k} \quad (25)$$



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa lực kéo và góc quay bánh xe

### IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

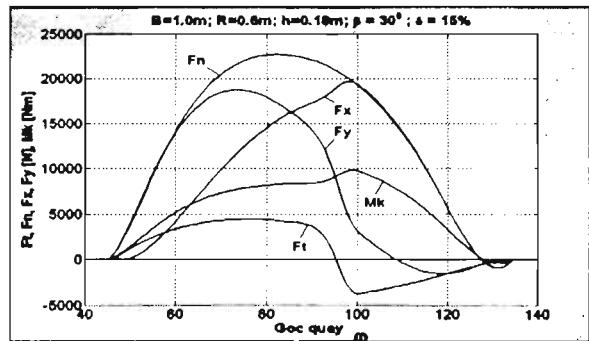
Với mô hình đã xây dựng ở trên cho phép khảo sát được sự ảnh hưởng của nhiều yếu tố kết cấu, tính chất cơ lý của đất, tải trọng pháp tuyến và vận tốc đến các hàm mục tiêu như hiệu suất kéo, độ trượt. Song trong khuôn khổ bài viết này chỉ đưa ra hai ví dụ minh họa.

Trên hình 5 thể hiện qui luật thay đổi của các thành phần phản lực tác dụng lên một mấu bám theo góc quay của bánh xe và mô men cản trên trực bánh xe. Góc quay bánh xe phụ thuộc vào tốc độ quay và thời gian ( $\varphi t = f\varphi$ ), do đó đặc tính trên hình 5 cũng có thể biểu diễn theo hàm thời gian khi cần nghiên cứu các bài toán động lực học.

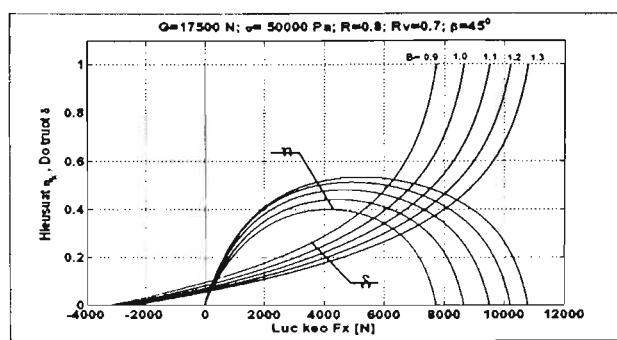
Qua kết quả trên cho thấy: Các thành phần phản lực và mô men tăng dần đến cực đại, tiếp theo giảm dần về âm và sau cùng trở về 0. Tùy theo các tham số đầu vào, các giá trị cực đại cũng khác nhau. Khi lực kéo  $F_x < 0$ , nghĩa là có tác dụng cản lại sử dụng chuyển động của bánh xe. Vì vậy, có thể khai thác mô hình này để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu và điều kiện sử dụng đến khả năng kéo của bánh xe.

Trên hình 6 là kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của bề rộng mấu B và lực kéo  $F_x$  đến độ trượt  $\delta$  và hiệu suất kéo  $\eta_k$ . Phản lực kéo  $F_x < 0$  là thành phần lực cản  $F_b$ , có giá trị giảm khi tăng bề rộng mấu. Lực kéo lớn nhất  $F_{xmax}$ , lực bám  $F_\varphi = F_{xmax} + F_b$  tăng khi tăng bề rộng mấu. Các giá trị hiệu suất cực đại  $\eta_{kmax}$  và giá trị lực kéo tương ứng  $F_{xlu}$  (gọi là lực kéo tối ưu) cũng tăng dần khi tăng bề rộng mấu.

Các kết quả khảo sát trên hình 6 có thể sử dụng làm một trong những cơ sở để tính toán bề rộng của mấu bám theo lớp lực kéo yêu cầu và tối ưu hóa các kết cấu của bánh xe. Trên bảng 1 thể hiện các kết quả tính toán với phương án đã khảo sát.



Hình 5. Quan hệ giữa các phản lực và mô men với góc quay của bánh xe



Hình 6. Ảnh hưởng bề rộng mấu và lực kéo đến độ trượt và hiệu suất kéo

Bảng 1. Ảnh hưởng bề rộng mấu đến khả năng kéo bám

B(m)	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>xmax</sub> (N)	η <sub>kmax</sub>	δ <sub>m</sub>	F <sub>xm</sub> (N)
0,9	3147	10894	7747	0,399	0,299	4166
1,0	2865	11538	8673	0,441	0,276	4478
1,1	2569	12097	9527	0,481	0,256	4698
1,2	2393	12618	10225	0,513	0,238	4927
1,3	2363	13172	10809	0,533	0,225	5227

#### N. KẾT LUẬN

Mô hình tính toán các chỉ tiêu kéo của bánh xe có mấu làm việc trên nền đất yếu đã tính đến sự ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu của bánh xe, tải trọng pháp tuyến, vận tốc, tính chất cơ lý của đất đến các thành phần phản lực, mô men cản, độ trượt và hiệu suất kéo. Đây là các nội dung quan trọng khi tính toán thiết kế, chế tạo và lựa chọn chế độ sử dụng hợp

lý các bánh xe trong các điều kiện sử dụng khác nhau.

Các kết quả khảo sát đã phản ánh đúng qui luật định tính về sự ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu và sử dụng đến các chỉ tiêu kéo bám của bánh xe. Điều đó chứng tỏ mô hình đã xây dựng có triển vọng ứng dụng. Tuy nhiên cần tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm kiểm chứng để khẳng định độ tin cậy và khả năng ứng dụng của mô hình.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Xuân Ái, 1982. *Nghiên cứu một số thông số cơ bản của bánh xe chủ động máy kéo MTZ làm việc trên ruộng lúa nước*. Luận án Phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật. Viện Công cụ và Cơ giới hóa Nông nghiệp.
2. Phạm Văn Ngân, 1999. *Nghiên cứu máy phay lồng làm đất ruộng nước trồng lúa ở đồng bằng sông Cửu Long*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật. Viện Cơ điện Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
3. V. V. Guxkov, 1977. *Máy kéo - Tập II, Lý thuyết*. Minsk.
4. Беккер М. Г., Въеденце в теорию систем местост-машин (Dịch từ tiếng Anh, NXB. Chế tạo máy. Maxcova, 1973).
5. фам ван ланг, 1987. Изследвания на машинно-тракторни агрегати за работа в оризищата на С.Р.В. Дис. за Доктор на науки, Русе, 1987.

#### A CALCULATING MODEL FOR STICKING AND DRAGGING CRITERION OF THE KNOTTED WHEELS WHEN WORKING ON SOFT GROUND

Trieu Anh Tuan, Dau The Nhu, Le Duc Quang

#### Summary

This paper presents a calculating model sticking and dragging criterion of the knotted wheels when working on soft ground. This model can allow surveying many factors that affect the sticking and dragging criterion. Basing on that, the wheel structure can be selected as well as the rational use regulations in different conditions. The new thing of this model is considering the relative sliding between the elements of land and working surface of the knots allowing to calculate the drag performance and drag coefficient of the wheels. The results of the study improve the scientific basis for calculating and designing the wheels of tractors working on the water rice fields in Vietnam actively.

**Key words:** Tractor, the sticking and dragging nature of the wheels, on the soft ground.

Người phản biện: GS.TSKH. Phạm Văn Lang