



XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC QUAY VÒNG CỦA MÁY KÉO HAI THÂN NỐI KHỚP BÀN LỀ

Nguyễn Văn Hoàng, Nông Văn Vìn, Đào Chí Cường

Khoa Cơ khí Động lực - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 04/11/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 22/12/2019

Ngày bài báo được chấp nhận đăng: 26/12/2019

Tóm tắt

Máy kéo hai thân là loại máy kéo có tính cơ động cao nhờ bán kính quay vòng nhỏ hơn máy kéo thông thường và có khả năng kéo bám tốt, song giá thành máy đắt nên còn ít được sử dụng ở Việt Nam. Bài viết này giới thiệu một số kết quả nghiên cứu về tính chất động lực học quay vòng đầu bờ của máy kéo hai thân nhằm góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc lựa chọn chế độ sử dụng hợp lý các liên hợp máy kéo trên đồng ruộng. Sử dụng phương pháp D'alambert đã xây dựng được hệ phương trình vi phân mô tả động lực học quay vòng máy kéo và giải bài toán trên phần mềm Matlab-Simulink với chỉ tiêu đánh giá chất lượng quay vòng là diện tích cần thiết dành cho máy kéo quay vòng đầu bờ.

Kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của một số yếu tố chính là góc đánh lái, tốc độ đánh lái và vận tốc máy kéo đến chỉ tiêu quay vòng đầu bờ có thể làm tài liệu tham khảo khi nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng của các máy kéo hai thân.

Từ khóa: máy kéo hai thân, mô hình quay vòng máy kéo, động lực học quay vòng máy kéo hai thân.

1. Đặt vấn đề

Máy kéo hai thân nối khớp bàn lề là loại máy kéo có tính năng cơ động cao nhờ giảm được bán kính quay vòng so với các máy kéo thông thường lái cầu trước, đồng thời các máy kéo hai thân được thiết kế hai cầu chủ động nên nâng cao được khả năng kéo bám. Các máy kéo công suất nhỏ thường được sử dụng để làm vườn, còn máy kéo công suất lớn thường được sử dụng để thực hiện các công việc nặng nhọc trên đồng ruộng. Tuy nhiên, các loại máy kéo hai thân công suất lớn chưa được sử dụng ở Việt Nam do kích thước đồng ruộng ở Việt Nam còn hạn chế, mặt khác giá thành máy cao.

Khi làm việc trên đồng ruộng, diện tích cần thiết để thực hiện quay vòng đầu bờ là một chỉ tiêu quan trọng, giảm được diện tích cần thiết để quay vòng cũng đồng nghĩa với nâng cao được năng suất và giảm chi phí nhiên liệu cho các liên hợp máy kéo. Đây là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu.

Trong bài viết này giới thiệu một số kết quả nghiên cứu về tính chất động lực học quay vòng

của máy kéo hai thân nối khớp bàn lề nhằm góp phần tạo dựng những cơ sở khoa học cho việc lựa chọn hợp lý các chế độ sử dụng liên hợp máy kéo hai thân trên đồng ruộng.



Hình 1. Hình ảnh máy kéo T-150K

2. Xây dựng mô hình động lực học quay vòng của máy kéo hai thân

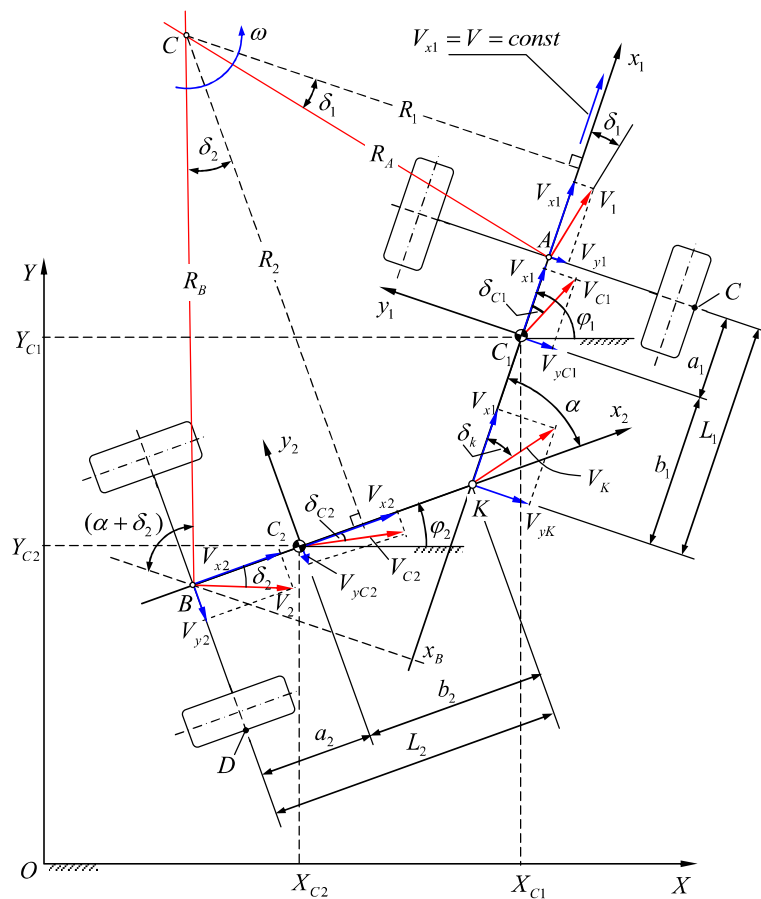
2.1. Lựa chọn mô hình nghiên cứu

Quá trình chuyển động vào đường vòng là một quá trình động lực học phức tạp phụ thuộc vào các yếu tố kết cấu, điều kiện chuyển động và các tác động điều khiển của người lái, do đó việc

mô tả chính xác và đầy đủ quá trình động lực học quay vòng của máy kéo là không thể.

Trong công trình này sử dụng mô hình tương đối đơn giản, đó là mô hình quay vòng một vết như hình 2 với một số giả thiết: Máy kéo quay

vòng đầu bờ trên mặt đồng bằng phẳng; chỉ sử dụng cầu trước chủ động; các góc chuyển động lệch của bánh xe (δ_1, δ_2) là nhỏ; vận tốc dọc thân máy kéo là không đổi ($V_{x1}=V=const$).



Hình 2. Mô hình động học quay vòng một vết

Các ký hiệu trên mô hình:

- δ_i – góc chuyển động lệch của cầu xe;
 - φ_i – góc xoay thân xe;
 - V_i – vận tốc điểm giữa của cầu xe;
 - V_{xi} – thành phần vận tốc dọc trục thân máy;
 - V – vận tốc máy kéo;
 - ω – vận tốc góc quay vòng máy kéo;
 - α – góc xoay tương đối giữa hai thân (góc đánh lái);
 - a_i, b_i, L_i – các tọa độ trọng tâm của thân xe.
- Ký hiệu $i=1$ cho thân trước, $i=2$ cho thân sau.

2.2. Xác định các quan hệ động học

Dựa trên các quan hệ hình học và động học trên hình 2 sẽ xác định được một số thông số sau:

a) Bán kính quay vòng của thân trước R_1

$$R_1 = \frac{L_1 + L_2 \cos \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \delta_2) - \operatorname{tg} \delta_1} \approx \frac{L_1 + L_2 \cos \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + \delta_2 - \delta_1} \quad (1)$$

b) Vận tốc góc quay vòng

$$\omega = \frac{V}{R_1} = \frac{V \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \delta_2 - \delta_1)}{L_1 + L_2 \cos \alpha} \quad (2)$$

c) Các thành phần vận tốc của trọng tâm thân trước trong hệ tọa độ tương đối ($x_1 C_1 y_1$)

$$\begin{cases} V_{xC1} = V \cos t \\ V_{yC1} = V \cdot \left[\delta_1 + \frac{a_1}{L_1 + L_2 \cos \alpha} (\operatorname{tg} \alpha + \delta_2 - \delta_1) \right] \end{cases} \quad (3)$$

d) Các thành phần vận tốc của trọng tâm thân trước trong hệ tọa độ tuyệt đối (XOY)

Chiếu các thành phần vận tốc V_{xC1}, V_{yC1} lên các trục của hệ tọa độ tuyệt đối XOY sẽ nhận được các thành phần vận tốc tương ứng:

$$\begin{cases} V_{XC1} = V_{xC1} \cos \varphi_1 + V_{yC1} \sin \varphi_1 \\ V_{YC1} = V_{xC1} \sin \varphi_1 - V_{yC1} \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (4)$$

e) Các thành phần vận tốc của khớp nối K

$$\begin{cases} V_{xK} = V = \cos st \\ V_{yK} = V \operatorname{tg} \delta_1 + L_1 \omega \end{cases} \quad (5)$$

$$\delta_K = \operatorname{arctg} \frac{V \delta_1 + L_1 \omega}{V} \quad (6)$$

f) Các phương trình liên kết giữa hai thân

$$V_{x2} = V_{xK} \cos \alpha + V_{yK} \cos(\pi/2 - \delta_K) \quad (7)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \alpha \quad (8)$$

g) Vận tốc trọng tâm của thân sau

- Trong hệ tọa độ tương đối ($x_2 C_2 y_2$):

$$\begin{cases} V_{xC2} = V_{x2} \\ V_{yC2} = V_{y2} - a_2 \omega \end{cases} \quad (9)$$

Sau khi thay thế ω từ công thức (2) và biến đổi nhận được:

$$V_{yC2} = V \left[\delta_2 - \frac{a_2}{L_1 + L_2 \cos \alpha} (\operatorname{tg} \alpha + \delta_2 - \delta_1) \right] \quad (10)$$

- Trong hệ tọa độ tuyệt đối (XOY):

Chiếu các thành phần vận tốc V_{xC1} , V_{yC1} lên các trục của hệ tọa độ tuyệt đối XOY sẽ nhận được các thành phần vận tốc tương ứng:

$$\begin{cases} V_{xC2} = V_{xC1} \cos(\varphi_1 - \alpha) + V_{yC1} \sin(\varphi_1 - \alpha); \\ V_{yC2} = V_{xC1} \sin(\varphi_1 - \alpha) - V_{yC1} \cos(\varphi_1 - \alpha) \end{cases} \quad (11)$$

2.3. Xác định các thành phần lực

Để xác định các thành phần ngoại lực tác dụng lên máy kéo ta tách hai thân tại khớp nối như hình 3.

- Lực cản lăn:

$$P_{f1} = f \cdot m_1 g; \quad P_{f2} = f \cdot m_2 g \quad (12)$$

với m_1 , m_2 – khối lượng thân trước và thân sau; f – hệ số cản lăn.

- Phản lực bên:

$$S_1 = k_1 \delta_1; \quad S_2 = k_2 \delta_2 \quad (13)$$

với k_1 , k_2 là hệ số chống chuyển động lệch của bánh xe cầu trước và cầu sau.

- Lực liên kết tại khớp nối:

$$F_{Kx2} = P_{f2} \quad \text{và} \quad F_K = \frac{P_{f2}}{\cos(\alpha - \delta_K)} \quad (14)$$

2.4. Xây dựng mô hình toán học mô tả động lực học quay vòng

Áp dụng phương pháp D'alambert để thiết lập phương trình vi phân chuyển động vòng của máy kéo hai thân với lưu ý gia tốc dọc trục thân máy bằng không vì ta đã giả thiết $V_{x1} = V = \text{const}$, phương trình có dạng:

$$\begin{cases} m_1 a_{y1} = \sum F_{y1}; \\ m_2 a_{y2} = \sum F_{y2}; \\ (J_1 + J_2) \cdot \dot{\omega} = \sum M_{C1} + \sum M_{C2} \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó: J_1 , J_2 – mô men quán tính của thân trước và thân sau lấy với trục z đi qua khối tâm của các thân xe ;

a_{y1} , a_{y2} – Gia tốc bên của trọng tâm thân trước và thân sau;

$\sum F_{y1}$ - Tổng các ngoại lực tác dụng lên thân trước theo phương y_1 ;

$\sum F_{y2}$ - Tổng các ngoại lực tác dụng lên thân sau theo phương y_2 ;

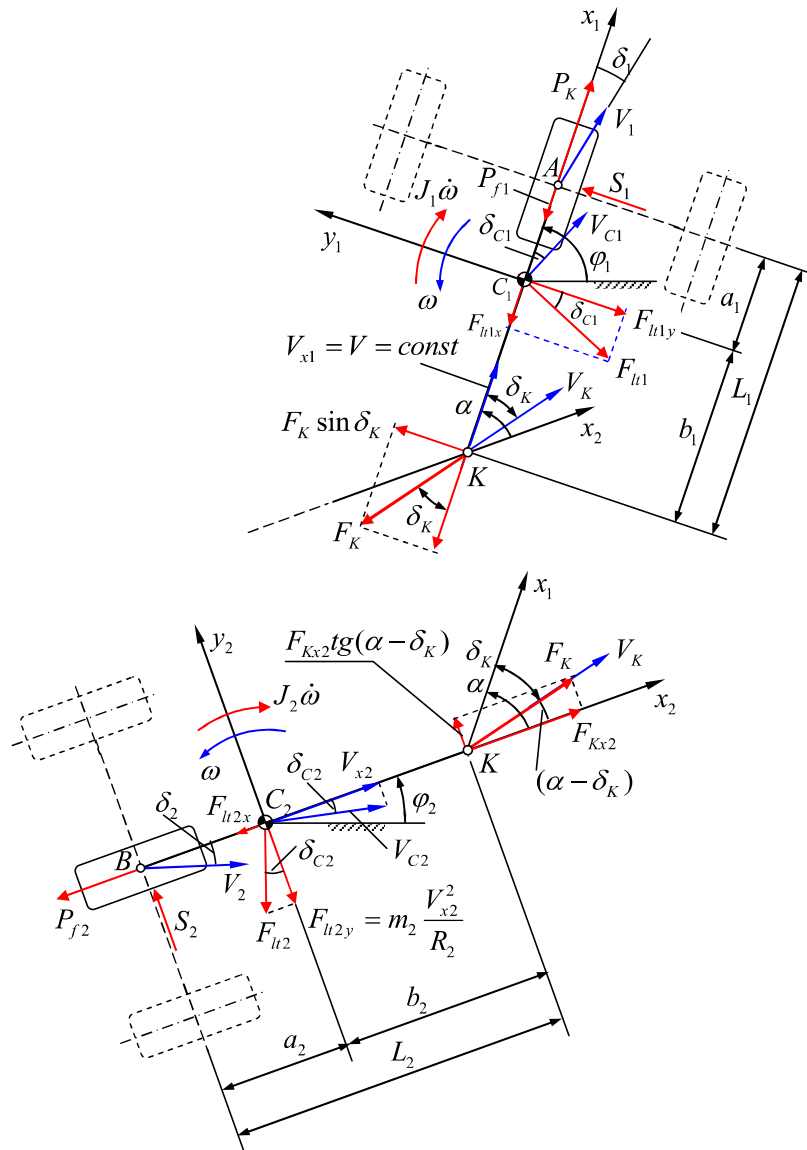
$\sum M_{C1}$ - Tổng mô men các ngoại lực tác dụng lên thân trước, lấy với trọng tâm C_1 ;

$\sum M_{C2}$ - Tổng mô men các ngoại lực tác dụng lên thân sau, lấy với trọng tâm C_2 .

Lấy đạo hàm phương trình vận tốc (3) theo thời gian sẽ xác định được gia tốc a_{y1} , và lấy đạo hàm phương trình vận tốc (10) sẽ xác định được gia tốc a_{y2} .

Sau khi thay thế các thành phần lực và mô men vào hệ phương trình (15) và rút gọn ta được hệ 3 phương trình vi phân sau:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_1 = - \frac{\frac{L_x}{(L_x - a_1)} \left(\frac{F_{y1}}{m_1 V} - A_1 \right) - \frac{a_1}{(L_x - a_1)} \left[\frac{L_x}{(L_x - a_2)} \left(\frac{F_{y2}}{m_2 V} + A_2 \right) \right]}{\left(1 - \frac{a_1 a_2}{(L_x - a_1)(L_x - a_2)} \right)}; \\ \dot{\delta}_2 = - \frac{\frac{L_x}{(L_x - a_2)} \left(\frac{F_{y2}}{m_2 V} + A_2 \right) - \frac{a_2}{(L_x - a_2)} \left[\frac{L_x}{(L_x - a_1)} \left(\frac{F_{y1}}{m_1 V} - A_1 \right) \right]}{\left(1 - \frac{a_1 a_2}{(L_x - a_1)(L_x - a_2)} \right)}; \\ \dot{\omega} = - \frac{S_1 a_1 - b_1 F_K \sin \delta_K - S_2 a_2 + b_2 F_K \sin(\alpha - \delta_K)}{(J_1 + J_2)} \end{cases} \quad (16)$$



Hình 3. Sơ đồ xác định các thành phần lực liên kết ở khớp nối

Trong đó: $L = L_1 + L_2 \cos \alpha$;

$$\delta_K = \arctg \frac{V \delta_1 + L_1 \omega}{V}; \quad F_{y1} = k_1 \delta_1 + P_{f2} \sin \delta_K;$$

$$F_{y2} = k_2 \delta_2 + P_{f2} \sin(\alpha - \delta_K);$$

$$A_1 = \left(\frac{a_1}{L} \frac{\dot{\alpha}}{\cos^2 \alpha} + \frac{a_1 L_2 \dot{\alpha} \sin \alpha}{L^2} (tg \alpha + \delta_2 - \delta_1) \right);$$

$$A_2 = \left(\frac{a_2}{L} \frac{\dot{\alpha}}{\cos^2 \alpha} + \frac{a_2 L_2 \dot{\alpha} \sin \alpha}{L^2} (tg \alpha + \delta_2 - \delta_1) \right).$$

Hệ phương trình vi phân (16) là hệ phương trình phi tuyến, do đó chúng tôi giải bằng phương pháp số trên phần mềm Matlab-Simulink. Đối tượng nghiên cứu là máy kéo T-150K do liên bang Nga sản xuất, các số liệu kỹ thuật được trích dẫn từ tài liệu [5].

2.5. Xây dựng quỹ đạo quay vòng

Giải hệ phương trình (16) được các nghiệm: các góc chuyển động lệch δ_1 , δ_2 , vận tốc góc ω và các góc xoay thân xe φ_1 , φ_2 . Thay các giá trị δ_1 , δ_2 vào phương trình (3) xác định các thành phần vận tốc V_{c1} , V_{y1} ; tiếp đó sẽ xác định các thành phần vận tốc tuyệt đối V_{xc1} , V_{yc1} của trọng tâm C_1 trong hệ tọa độ tuyệt đối XOY theo phương trình (4). Các tọa độ tuyệt đối của trọng tâm C_1 sẽ là:

$$\begin{cases} X_{C1} = \int_0^t V_{xc1} dt \\ Y_{C1} = \int_0^t V_{yc1} dt \end{cases} \quad (17)$$

Sau khi xác định được tọa độ của trọng tâm C_1 thì ta có thể xác định tọa độ của một điểm bất kỳ trên máy kéo dựa trên các quan hệ hình học như sơ đồ động học Hình 2. Bằng cách như vậy sẽ xây dựng được quỹ đạo chuyển động của các điểm đặc trưng:

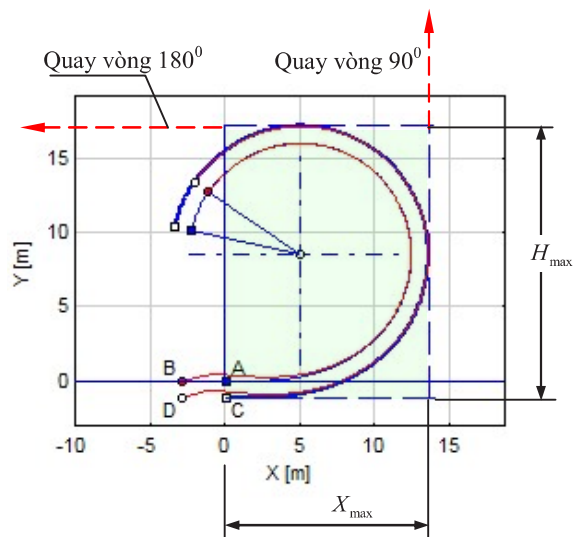
- Quỹ đạo chuyển động của điểm giữa cầu trước A, điểm giữa cầu sau B

- Quỹ đạo chuyển động của điểm mép ngoài của các bánh xe chạy đường vòng ngoài: Điểm C trên bánh xe cầu trước và D trên bánh xe cầu sau (Xem Hình 2). Đây là quỹ đạo giới hạn biên dùng để xác định diện tích cần thiết cho quay vòng.

3. Một số kết quả khảo sát

3.1. Lựa chọn chỉ tiêu đánh giá chất lượng quay vòng máy kéo

Khi làm việc trên đồng ruộng như cây, bừa, máy kéo phải liên tục thực hiện quay vòng ở đầu bờ để thực hiện một đường làm việc mới. Mong muốn là dải đất cần thiết dành cho thực hiện quay vòng đầu bờ càng nhỏ càng tốt. Do vậy, ở đây chọn chỉ tiêu đánh giá chất lượng quay vòng của máy kéo là *diện tích cần thiết để máy kéo có thể quay vòng ở đầu bờ 180°*.



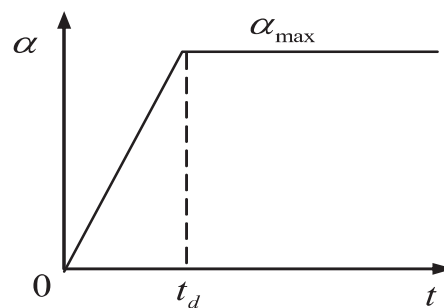
Hình 4. Sơ đồ xác định diện tích quay vòng đầu bờ

Trên hình 4 là sơ đồ xác định diện tích cần thiết để máy kéo quay vòng 180°. Từ quỹ đạo mép ngoài của các bánh xe bên ngoài đường vòng

(điểm C - mép ngoài bánh xe cầu trước; điểm D - mép ngoài bánh xe cầu sau) sẽ xác định được diện tích cần thiết để quay vòng $S_{ct} = X_{\max} \times H_{\max}$. Giá trị $X_{\max}$ chính là bề rộng cần thiết của vật ruộng đầu bờ để máy kéo có thể quay vòng 90°, còn $H_{\max}$ là khoảng cách cần thiết để máy kéo có thể quay vòng lại 180°.

3.2. Lựa chọn hàm điều khiển

Thực tế quá trình thay đổi góc xoay tương đối giữa hai thân α xảy ra ngẫu nhiên tùy thuộc mức độ tác động của người điều khiển máy vào hệ thống lái. Để đơn giản hóa bài toán, chúng tôi chọn hàm điều khiển là hàm tuyến tính có đặc tính như hình 5.



Hình 5. Đặc tính điều khiển (đánh lái)

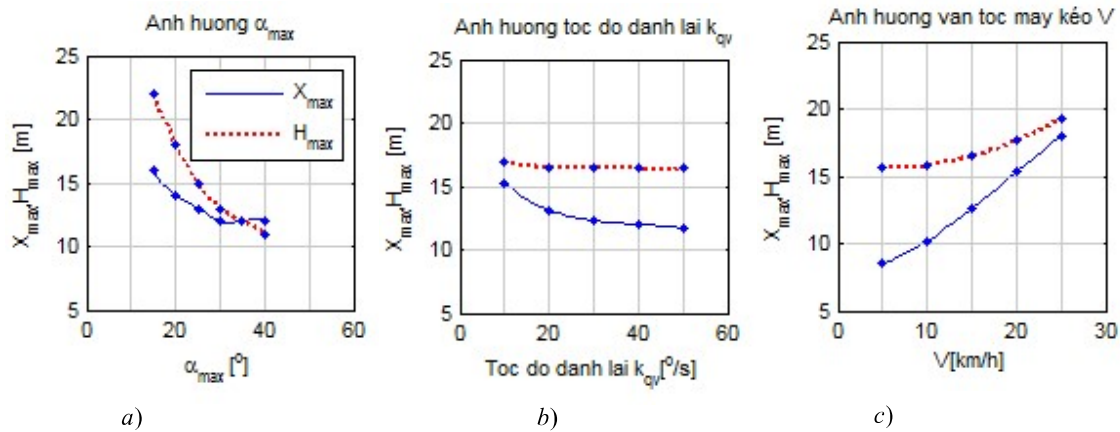
Hàm điều khiển có dạng như sau:

$$\alpha = \begin{cases} k_{qv}t & \text{khi } k_{qv}t \leq \alpha_{\max} \\ \alpha_{\max} & \text{khi } k_{qv}t > \alpha_{\max} \end{cases} \quad (18)$$

Trong đó: k_{qv} – tốc độ quay vòng (độ/s); $\alpha_{\max}$ – góc dừng đánh lái (độ); t_d – thời điểm dừng đánh lái (thời gian đánh lái).

3.3. Một số kết quả khảo sát

Có khá nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chỉ tiêu quay vòng đầu bờ của máy kéo như các yếu tố kết cấu máy kéo, kích thước đồng ruộng, phương pháp quay vòng, kỹ năng của người điều khiển, ... Ở đây chọn một số yếu tố chính do tác động của người điều khiển, đó là góc đánh lái $\alpha_{\max}$, tốc độ đánh lái k_{qv} và vận tốc của máy kéo V . Một số kết quả khảo sát cho loại máy kéo kéo hai thân T-150K do liên bang Nga sản xuất với công suất 120kW [5] thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Ảnh hưởng của góc đánh lái $\alpha_{\max}$ (a), tốc độ đánh lái k_{qv} (b) và vận tốc máy kéo, (c) đến chỉ tiêu quay vòng đầu bờ.

Nhận xét: Qua các kết quả trên hình 6 cho thấy:

1- Quy luật ảnh hưởng của góc đánh lái $\alpha_{\max}$:

Góc đánh lái $\alpha_{\max}$ ảnh hưởng lớn đến thông số $H_{\max}$, khi thay đổi góc $\alpha_{\max}$ từ 15 đến 40 độ thì $H_{\max}$ giảm khoảng 10 m; $X_{\max}$ giảm khoảng 3m. Ở đây cần lưu ý là khi $\alpha_{\max} > 30^\circ$ thì $X_{\max}$ không giảm nữa, thậm chí còn hơi tăng lên. Vì thế cần phải biết lựa chọn hợp lý góc $\alpha_{\max}$ mới giảm được diện tích cần thiết để quay vòng đầu bờ.

2- Quy luật ảnh hưởng của tốc độ đánh lái k_{qv} :

Tốc độ đánh lái k_{qv} ít ảnh hưởng đến $H_{\max}$, có thể bỏ qua ảnh hưởng này, nhưng ảnh hưởng đến $X_{\max}$ là đáng quan tâm: khi thay đổi tốc độ đánh lái từ 15 đến 40 độ/s thì $X_{\max}$ giảm khoảng 3m, sau đó nếu tiếp tục tăng k_{qv} thì sự giảm của $X_{\max}$ không đáng kể.

3- Quy luật ảnh hưởng của vận tốc máy kéo

Vận tốc máy kéo V ảnh hưởng lớn đến chỉ tiêu quay vòng và thay đổi trong phạm vi rộng. Nếu chỉ xét trong khoảng thay đổi tốc độ $V = 5 - 25$ km/h thì $X_{\max}$ tăng khoảng 20m, còn $H_{\max}$ tăng 5m. Vì thế để giảm bề rộng vật ruộng dành cho quay vòng đầu bờ, các máy kéo thường chỉ chạy với tốc độ thấp khoảng 10km/h.

4. Kết luận

Nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình động lực học quay vòng máy kéo hai thân với mô hình một vết, trên cơ sở đó đã xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink và khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố vận hành đến chỉ tiêu đánh giá chất lượng quay vòng đầu bờ. Các kết quả bước đầu (Hình 6) cho phép sơ bộ đánh giá các quy luật ảnh hưởng của góc đánh lái $\alpha_{\max}$, tốc độ đánh lái k_{qv} và vận tốc máy kéo V đến chỉ tiêu chất lượng quay vòng đầu bờ của máy kéo hai thân, hy vọng các kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ là những đóng góp khoa học nhất định cho những người quan tâm nghiên cứu khai thác máy kéo trên đồng ruộng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Đào Hoàng Phúc (2014), *Động lực học ô tô*, Nxb Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Khắc Trai (1997), *Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội
- [3] Слави Любенов (1988), *Трактори и автомобили*, Земиздат, София

- [4] A. Н. Мирошниченко (2014), *Основы теории автомобиля и трактора*, Издательство ТГАСУ, Москва
- [5] <https://tractorreview.ru/traktora/kolesnyie-traktora/htz/traktor-t-150k-tehnicheskie-harakteristiki.html> (Tiếng Nga, Số liệu kỹ thuật của máy kéo T-150K)
- [6] <http://www.pim.vn/Modules/CMS/Upload/36/Bai-bao-tieu-chi-CDI-XL.MR%20%20Doan%20Doan%20Tuan.pdf>

MODELING TURNING AROUND DYNAMICS OF ARTICULATED FRAME TRACTOR THE HINGE

Abstract

Due to the small turning radius, Articulated tractors' characteristic is higher mobility than that of the conventional tractors. However, its price is high. It is not accessible in Viet Nam.

The paper aims to introduce the research results on the rotation dynamics of the Articulated tractors at the top edge of the field to find out the best operation mode in practice. By using D'alambert, we had developed the differential equations to present the Articulated tractors' rotational dynamics. Then they were solved on the MATLAB&Simulink with the index of evaluation is that the minimum area for the tractor turning at the top edge of the field.

The results have shown that the steering angle, steering speed, and the Articulated tractors' speed are the main factor to affect the rotation dynamics. These results are primarily for improving the efficient use of Articulated tractors

Keywords: *Articulated tractors; Modelling of Turning dynamics of articulated tractor; Turning dynamics of Articulated tractor;*