

# XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH MOMENT QUÁN TÍNH CỦA MÁY KÉO THEO TRỤC ĐỨNG

TS VŨ DUY DŨNG

Trung tâm Ươm tạo và Hỗ trợ Doanh nghiệp Khoa học và Công nghệ

TS ĐẬU THỂ NHU

Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ Sau thu hoạch

Bài báo này giới thiệu một phương pháp mới để xác định moment quán tính của máy kéo theo trục đứng bằng thực nghiệm. Hệ thống thiết bị thí nghiệm tương đối đơn giản, dễ thực hiện và đảm bảo độ chính xác cao.

**Từ khóa:** đo moment quán tính, thử nghiệm máy kéo.

BUILDING THE  
EXPERIMENTAL  
METHOD FOR  
DETERMINING THE  
INERTIA MOMENT  
AROUND THE  
VERTICAL AXIS OF  
TRACTOR

Summary

This paper introduces a new method for determining the inertia moment around the vertical axis of tractor by experimental method. Testing equipment system is rather simple and easy to operate and ensure high accuracy.

**Keywords:**  
measurement of  
inertia moment, tractor  
experiment.

## Đặt vấn đề

Moment quán tính theo trục đứng của máy kéo cũng như một số phương tiện di động được sử dụng khá thường xuyên trong các bài toán về ổn định hướng chuyển động của chúng. Để xác định moment quán tính của một vật hiện nay thường sử dụng các phương pháp sau: (1) Phương pháp con lắc đơn; (2) Phương pháp treo đàn hồi; (3) Phương pháp con lắc xoắn.

Phương pháp thứ nhất thường chỉ được sử dụng cho các vật có khả năng treo lên một trục quay nằm ngang song song với trục ta cần xác định moment quán tính. Phương pháp này khó có thể áp dụng để xác định moment quán tính của máy kéo. Phương pháp thứ hai thường được sử dụng để đo moment quán tính theo các trục ngang của máy kéo, do dễ dàng tạo ra các trục quay cùng chiều. Hiện nay moment quán tính theo trục đứng chủ yếu sử dụng phương pháp thứ ba. Theo phương pháp này, máy kéo hay phương tiện di động được treo bởi 2 sợi dây (hình 1) sao cho trọng tâm của máy kéo cách đều chúng một khoảng cách  $l/2$ . Moment quán tính của máy kéo được xác định thông qua chu kỳ dao động quay tự do của nó quanh trục thẳng đứng đi qua trọng tâm:

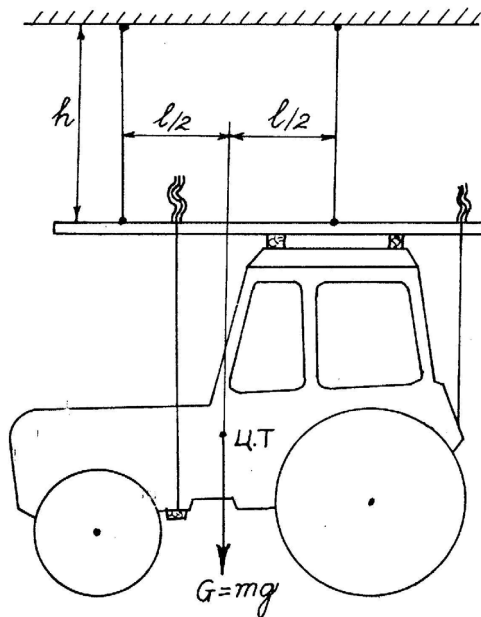
$$J_T = \frac{m_T g l^2 T^2}{16h\pi^2} - J_{dam} \quad (1)$$

Trong đó:  $m_T$  là khối lượng của máy kéo;  $g$  - gia tốc trọng trường;  $l$  - khoảng cách giữa hai điểm treo;  $h$  - chiều dài dây treo;  $J_{dam}$  - moment quán tính của dầm treo theo trục thẳng đứng;  $T$  - chu kỳ dao động.

Phương pháp này có một số nhược điểm sau:

- Về mặt nguyên tắc, máy kéo khi treo theo sơ đồ hình 1 có 3 bậc tự do: dao động theo phương ngang, dao động theo phương đứng và dịch chuyển theo trục đứng. Hai dao động theo phương ngang và phương đứng, trong thực tế, thí nghiệm rất khó có thể triệt tiêu được và do đó ít nhiều sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo.

- Với mỗi loại máy kéo khác nhau cần thiết phải có các bộ khung gá khác nhau,



Hình 1: sơ đồ xác định moment quán tính của máy kéo theo trục đứng

đồng thời việc lắp đặt trước khi đo lường tốn rất nhiều công sức, cũng như độ chính xác lắp đặt theo sơ đồ rất khó được đảm bảo.

Nhằm loại bỏ các nhược điểm nêu trên, chúng tôi đã đề xuất một phương pháp xác định moment quán tính theo trục đứng cùng với hệ thống thiết bị thí nghiệm đa năng có thể dùng cho nhiều loại máy kéo và các phương tiện vận chuyển khác nhau.

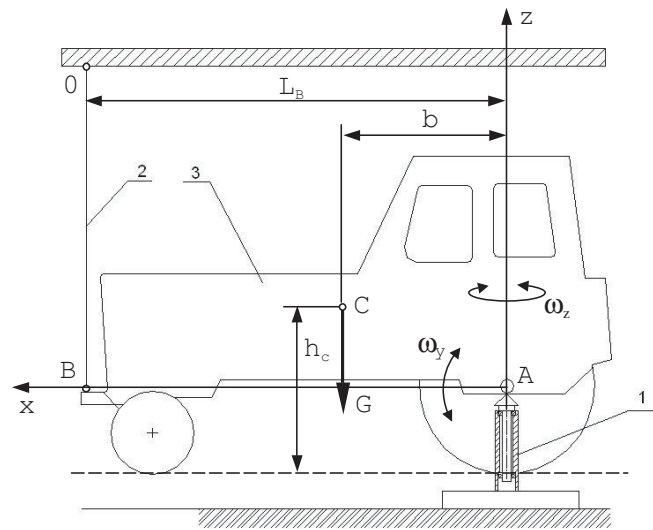
**Phương pháp nghiên cứu**

Phân tích định tính các thông số động lực học trên mô hình dao động tự do của máy kéo quanh trục thẳng đứng để tìm ra phương pháp xác định định lượng mô men quán tính bằng thực nghiệm. Sử dụng các kết quả mô phỏng động lực học bằng phần mềm Dynamic designer motion for Inventor để kiểm định một số giả thiết khi xây dựng mô hình thực nghiệm.

**Kết quả nghiên cứu và thảo luận**

**Mô hình thí nghiệm**

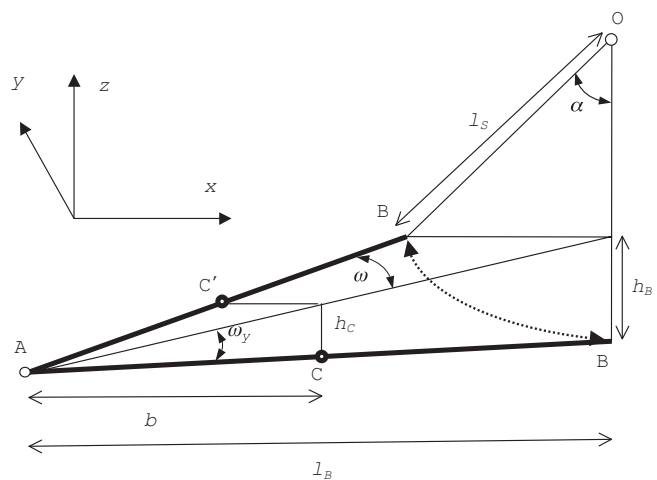
Mô hình thí nghiệm được thể hiện trên hình 2, trong đó giá đỡ 1 đảm bảo cho máy kéo có thể đồng thời quay được quanh trục thẳng đứng và trục ngang. Phần trước của máy kéo được treo bằng dây cáp mềm 2 giữ cho máy kéo ở tư thế nằm ngang. Như vậy, máy kéo 3 với giá đỡ 1 và sợi dây 2 tạo thành một hệ dao động với 1 bậc tự do.



Hình 2: sơ đồ treo máy kéo thí nghiệm

**Phương pháp xác định moment quán tính theo trục đứng**

Hình 3 là sơ đồ tính toán dao động của máy kéo. Để xây dựng phương trình dao động, chúng ta có thể sử dụng phương trình Lagrange loại II trên cơ sở động năng và thế năng của hệ.



Hình 3: sơ đồ tính toán dao động tự do của hệ

Động năng của hệ khi bỏ qua quán tính của sợi dây được tính theo công thức:

$$E_k = m_T \cdot (\dot{y}^2 + \dot{z}^2) + (J_z + J_{np})\omega_z^2 + J_y \cdot \omega_y^2$$

$$E_k = m_T \cdot [(b_1\omega_y)^2 + (b\omega_z)^2] + (J_z + J_{np})\omega_z^2 + J_y \cdot \omega_y^2$$

$$E_k = (J_z + m_T b^2 + J_{np})\omega_z^2 + (J_y + m_T b_1^2)\omega_y^2 \quad (2)$$

Trong đó:  $J_y$  là moment quán tính của máy kéo theo

trục ngang đi qua trọng tâm;  $J_z$  - moment quán tính của máy kéo theo trục đứng đi qua trọng tâm;  $J_{np}$  - moment quán tính của giá đỡ theo trục đứng (có thể bỏ qua vì rất nhỏ so với máy kéo);  $b$  - khoảng cách từ trục quay đứng đến trọng tâm máy kéo;  $b_1$  - khoảng cách từ trọng tâm máy kéo đến trục quay ngang (cạnh của lăng trụ);  $\omega_y$  - vận tốc góc của máy kéo quanh trục ngang;  $\omega_z$  - vận tốc góc của máy kéo quanh trục đứng.

Vận tốc góc  $\omega_y$  có thể tính thông qua  $\omega_z$  theo công thức:

$$\omega_y = \omega_z \cdot \tan \alpha$$

Trong đó  $\alpha$  là góc lắc của sợi dây.

Với góc lắc  $\alpha$  nhỏ từ  $-2^\circ$  đến  $2^\circ$ , có thể chấp nhận  $\omega_y \approx \omega_z$  với sai số không quá 3% và có thể bỏ qua thành phần có liên quan đến  $\omega_y$ . Khi đó động năng của hệ là:

$$E_k = (J_z + m_T b^2 + J_{np}) \omega_z^2 \quad (3)$$

Thế năng của hệ chỉ phụ thuộc vào chiều cao trọng tâm máy kéo và được xác định theo công thức sau:

$$E_{tt} = m_T g \cdot h_c = m_T g \cdot h_b \cdot b / l_b$$

$$\text{Mặt khác } h_b = 2l_s \sin^2 \alpha / 2 \approx \frac{1}{2} l_s \alpha^2 \approx \frac{1}{2} l_s \cdot \left( \frac{l_B \varphi}{l_s} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{l_B^2 \varphi^2}{l_s}$$

$$\text{Ta nhận được } E_{tt} = \frac{m_T g \cdot b \cdot l_b}{2l_s} \varphi^2 \quad (4)$$

Trong đó  $\varphi$  là góc dao động của máy kéo (quanh trục z).

Thay biểu thức động năng (3) và thế năng (4) vào phương trình Lagrange II ta nhận được phương trình dao động tự do của máy kéo:

$$(J_z + m_T b^2 + J_{np}) \ddot{\varphi} + \frac{m_T g \cdot b \cdot l_b}{l_s} \varphi = 0 \quad (5)$$

Tần số dao động riêng của máy kéo

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m_T g \cdot b \cdot l_b}{(J_z + m_T b^2 + J_{np}) l_s}}$$

Từ đó ta xác định được moment quán tính của máy kéo theo trục đứng đi qua trọng tâm:

$$J_z = \frac{m_T g \cdot b \cdot l_b}{l_s \omega_0^2} - m_T b^2 - J_{np} \quad (6)$$

Trong đó vận tốc góc của dao động được xác định qua chu kỳ dao động

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (7)$$

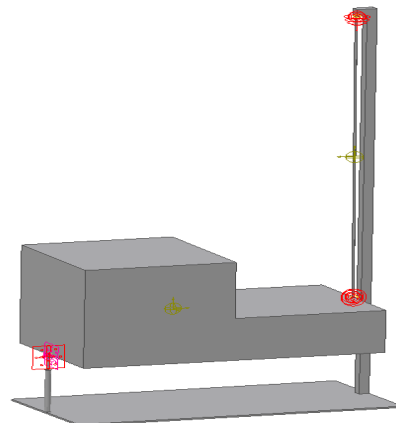
### Đánh giá sai số của phương pháp

Ngoài sai số do xác định không chính xác các thông số hình học như vị trí đặt trục quay, vị trí treo dây, chiều dài dây, khối lượng máy kéo, vị trí trọng tâm máy kéo... sai số hệ thống của phương pháp đo sinh ra còn do những nguyên nhân sau:

- Do bỏ qua sự ảnh hưởng của dao động của máy kéo theo trục ngang.

- Do tuyến tính hóa mô hình dao động.

Để kiểm tra sai số hệ thống này, chúng tôi đã mô phỏng quá trình dao động phi tuyến đầy đủ của máy kéo có tính đến dao động theo trục ngang bằng phần mềm Dynamic designer motion for Inventor. Mô hình được thể hiện trên hình 4.



Hình 4: mô hình mô phỏng dao động của máy kéo bằng phần mềm Dynamic designer motion for Inventor

Theo công thức (6) moment quán tính  $J_z$  được xác định khi đã bỏ qua sự ảnh hưởng của dao động quanh trục ngang, nghĩa là coi  $J_y = 0$ . Từ (6) ta có:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m_T g \cdot b \cdot l_b}{l_s (J_z + m_T b^2 + J_{np})}} \quad (8)$$

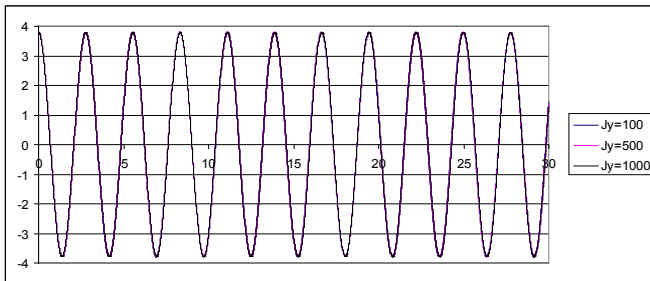
Giữ nguyên giá trị moment quán tính  $J_z$  và các thông số hình học khác, chỉ thay đổi giá trị mô men quán tính theo trục ngang  $J_y$  và tiến hành khảo sát tần số dao động riêng của hệ  $\omega$  ứng với các giá trị  $J_y$  khác nhau trên mô hình dao động phi tuyến (có tính đến dao động quanh trục ngang). Khảo sát này có thể đáp ứng được khi thực hiện trên phần mềm Dynamic designer motion for Inventor.

Nếu tần số dao động của hệ thay đổi không đáng kể khi ta thay đổi moment quán tính  $J_y$  thì chứng tỏ dao

động quanh trục ngang y ảnh hưởng không đáng kể đến phương pháp xác định mô men quán tính theo trục đứng như đã trình bày ở phần trên.

Các thông số được đưa vào bao gồm:  $l_s = 2,0$  m;  $l_b = 1,5$  m;  $m_T = 1000$  kg;  $J_z = 500$  kg.m<sup>2</sup>;  $J_y = 100 \div 1000$  kg.m<sup>2</sup>;  $b = 0,6$  m. Biên độ dao động được chọn là 0,2 m.

Kết quả về biên độ dao động của góc lắc máy kéo thể hiện ở đồ thị hình 5.



Hình 5: ảnh hưởng mô men quán tính theo trục ngang đến chu kỳ dao động của hệ

Từ đồ thị hình 5 cho thấy khi thay đổi moment quán tính theo trục ngang  $J_y$  trong khoảng rộng nhưng dao động góc lắc  $\varphi$  gần như trùng nhau.

Về định lượng, với ví dụ đang xem xét, ta xác định được chu kỳ dao động và vận tốc góc của dao động là:  $T = 2,776$  s;  $\omega_0 = 2,263395$  rad/s. Từ đó ta xác định được moment quán tính của máy kéo mô hình theo công thức (6) là:

$$J_z = \frac{m_T g b l_b}{l_s \omega_0^2} - m_T b^2 = \frac{1000 * 9,81 * 0,6 * 1,5}{2 * 2,263395^2} - 100 * 0,6^2 = 501,71 \text{ kg.m}^2$$

Sai số hệ thống do bỏ qua ảnh hưởng của dao động ngang là:

$$\frac{501,71 - 500}{500} * 100 = 0,35\%$$

Như vậy, từ các kết quả tính toán lý thuyết trên phần mềm Dynamic designer motion for Inventor cho phép khẳng định: dao động quanh trục ngang ảnh hưởng không đáng kể đến tần số dao động quanh trục thẳng đứng  $\omega_0$  của máy kéo và do đó có thể xác định moment quán tính theo trục đứng  $J_z$  theo công thức (6), trong đó chỉ cần xác định tần số dao động quanh trục thẳng đứng  $\omega_0$  bằng thực nghiệm.

### Ứng dụng phương pháp

Với phương pháp nêu trên, chúng tôi đã xác định mô men quán tính của máy kéo KUBOTA 18L. Hình ảnh thí nghiệm được thể hiện trên hình 6. Các thông



Hình 6: thí nghiệm xác định moment quán tính của máy kéo theo trục đứng

số đo:  $l_b = 1,76$  m;  $l_s = 1,85$  m;  $b = 0,5$  m; khối lượng máy kéo 658 kg.

Để đo chu kỳ lắc, chúng tôi đã sử dụng camera quay dao động, sau đó sử dụng chế độ chạy chậm để xác định chu kỳ. Kết quả thu được  $T = 2,733$  s, vận tốc góc  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2,3$  rad/s

Moment quán tính của máy kéo theo trục thẳng đứng đi qua trọng tâm là:

$$J_z = \frac{m_T g b l_b}{l_s \omega_0^2} - m_T b^2 - J_{np} = \frac{658 * 10 * 0,5 * 1,76}{2,68 * 2,3^2} - 658 * 0,5^2 = 236 \text{ kg.m}^2$$

### Kết luận

Phương pháp xác định moment quán tính theo trục đứng của máy kéo đã nêu có sai số hệ thống nhỏ, ảnh hưởng của dao động quanh trục ngang của máy kéo là không đáng kể.

Với phương pháp đã xây dựng cùng với thiết bị đơn giản cho phép xác định moment quán tính theo trục đứng của các loại máy kéo cũng như các phương tiện di động với các chủng loại khác nhau một cách dễ dàng, với sự chuẩn bị thí nghiệm đơn giản hơn so với các phương pháp khác ■

### Tài liệu tham khảo

1. Vũ Liêm Chính, Phan Nguyên Di (2001), *Giáo trình động lực học máy* (tài liệu dịch từ tiếng Đức), Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Nông Văn Vin, Phạm Minh Đức (2009), *Xác định mô men quán tính của ô tô máy kéo và rô mooc một trục bằng phương pháp thực nghiệm*, Nxb Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Hà Nội.
3. Анилович В.Я., *Водолажечко., Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов*, Москва, Машиностроение, 1976.
4. Горячкин В.П., *Спрание сочинений, том первый*, Москва, Издательство Колос, 1965.
5. Дау Тхе Нху, *Изследване на буксуването и напречното увеличане на колесен трактор при работа на неравен терен*. дисертации - Русе 1994.
6. Русев Р.Г., *Нагруженост и динамика трансмисиции колесного трактора для работы в горных условиях Н.Б. Болгарии* - дисертации - Минск, 1980.