

THIẾT LẬP MÔ HÌNH, KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC QUAY VÒNG ĐOÀN XE BẰNG LÝ THUYẾT KHÔNG GIAN TRẠNG THÁI

MODELING, INVESTIGATING CONERING TRACTOR-SEMITRAILER'S
DYNAMIC BY STATE SPACE THEORY

ThS. Phạm Hoàng Minh
Viện Kỹ thuật Cơ giới Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả thiết lập mô hình toán, giải hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của đoàn xe trên đường ngang phẳng theo lý thuyết không gian trạng thái. Kết quả của bài toán được áp dụng để khảo sát ảnh hưởng của việc thay đổi một số tham số kết cấu đến động lực học chuyển động của đoàn xe. Phương pháp và kết quả của bài toán có thể sử dụng, tham khảo để nâng cao chất lượng thiết kế các loại sơ-mi-rơ-moóc và rơ-moóc.

Từ khoá: Động lực học xe; Động lực học chuyển động; Động lực học đoàn xe; Lý thuyết không gian trạng thái.

ABSTRACT

This paper presents the results of modeling, then solving systems of differential equations described the maneuver of the tractor-semitrailer on a flat horizontal pavement by using state space theory. Results of the problem are applied to investigate response of tractor-semitrailer's dynamics to some structure parameter changing. Methods and results of the problem can be used or refer to raise the quality of designing new semitrailers and trailers.

Keywords: Vehicle's dynamics; Dynamics of movement; Tractor-semitrailer dynamics; state space theory.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Viện Kỹ thuật Cơ giới Quân sự (Tổng cục Kỹ thuật) được Bộ Quốc phòng giao nhiệm vụ tính toán, thiết kế và chế tạo các loại sơ-mi-rơ-moóc nói riêng, đoàn xe nói chung, nhằm chuyên chở một số khí tài quan trọng như pháo phòng không tự hành 3CY 23-4, pháo tự hành CY 122, xe tăng... Theo chủ trương của Đảng, Nhà nước về việc nâng cao tính chuyên nghiệp, hiện đại trong quân đội, nhu cầu về việc thiết kế, cải hoán, chế tạo mới các loại đoàn xe là cấp thiết.

Theo [2],[5], động lực học chuyển động của đoàn xe rất phức tạp, đặc biệt là khi chuyển động quay vòng. Các tham số thiết kế (tham số về mặt kết cấu, bố trí chung) ảnh hưởng rất lớn động lực học chuyển động của đoàn xe. Cần phải nghiên cứu nhằm khảo sát ảnh hưởng của một số tham số thiết kế quan trọng đến động lực học chuyển động, đặc biệt là động lực học quay vòng của đoàn xe. Từ đó, có thể giảm thiểu khối lượng tính toán, thử nghiệm, từng bước nâng cao chất lượng thiết kế các loại đoàn xe mới.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Chuyển động quay vòng của xe và đoàn xe trên thực tế rất phức tạp, chịu tác động của rất nhiều yếu tố: Điều kiện, chất lượng bề mặt đường; điều kiện chịu gió; loại lốp, kích thước lốp; điều kiện tải; chất lượng lái xe... Theo [1], [5], ta khảo sát với các giả thiết cơ bản:

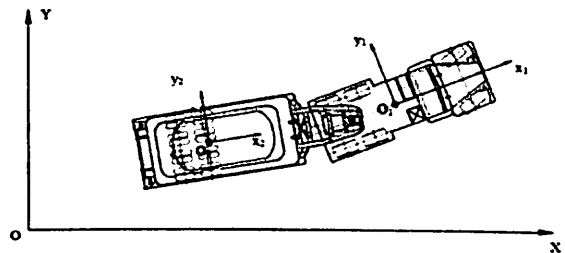
- Xem đoàn xe là hai vật rắn liên kết với nhau và chuyển động song phẳng trên mặt phẳng đường;

- Mô hình động lực học lốp được xây dựng trên giả thiết lốp là đàn hồi và lăn trượt trên nền đường cứng;

- Bỏ qua ảnh hưởng của hệ thống treo

trong quá trình chuyển động.

Với các giả thiết cơ bản như trên, mô hình đoàn xe chuyển động song phẳng trên mặt phẳng đường OXY được thể hiện trên hình 1:



Hình 1. Hệ tọa độ khảo sát chuyển động của đoàn xe

Theo [3], hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của đoàn xe là hệ (1):

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = y_1 \psi_1 + \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^6 (F_{1xi} - F_{1ci}) - \frac{1}{m_1} K_{1x} S_{1x} \dot{x}_1 - \frac{1}{m_1} F_{1xp} \\ \ddot{y}_1 = -\dot{x}_1 \psi_1 + \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^6 F_{1yi} - \frac{1}{m_1} K_{1y} S_{1y} \dot{y}_1 - \frac{1}{m_1} F_{1yp} \\ \ddot{\psi}_1 = \frac{1}{J_1} \sum_{i=1}^6 \left(F_{1xi} J_{1i} - F_{1yi} \cdot \frac{B_{1i}}{2} \right) - \frac{1}{J_1} F_{1yp} J_{1p} \\ \ddot{x}_2 = y_2 \psi_2 + \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^4 (F_{2xi} - F_{2ci}) - \frac{1}{m_2} K_{2x} S_{2x} \dot{x}_2 - \frac{1}{m_2} F_{2xp} \\ \ddot{y}_2 = -\dot{x}_2 \psi_2 + \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^4 F_{2yi} - \frac{1}{m_2} K_{2y} S_{2y} \dot{y}_2 - \frac{1}{m_2} F_{2yp} \\ \ddot{\psi}_2 = \frac{1}{J_2} \sum_{i=1}^4 \left(F_{2xi} J_{2i} - F_{2yi} \cdot \frac{B_{2i}}{2} \right) - \frac{1}{J_2} F_{2yp} J_{2p} \end{cases} \quad (1)$$

Viết lại (1) dưới dạng ma trận phù hợp với phương pháp giải bằng không gian trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}' = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \\ \dot{\mathbf{y}} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \end{cases}$$

$$\mathbf{x} = [x_1 \ y_1 \ \psi_1 \ \dot{x}_1 \ \dot{y}_1 \ \dot{\psi}_1 \ x_2 \ y_2 \ \psi_2 \ \dot{x}_2 \ \dot{y}_2 \ \dot{\psi}_2]^T$$

$$\mathbf{x}' = [x_1 \ y_1 \ \psi_1 \ \dot{x}_1 \ \dot{y}_1 \ \dot{\psi}_1 \ x_2 \ y_2 \ \psi_2 \ \dot{x}_2 \ \dot{y}_2 \ \dot{\psi}_2]^T$$

$$\text{Véc tơ đầu vào } \mathbf{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix}$$

$$u_1 = \left[Y_1 T_1 \quad \sum_1^6 (F_{1xi} - F_{1cl}) \quad X_1^2 \quad F_{1xP} \quad X_1 T_1 \quad \sum_1^6 F_{1yi} \quad Y_1^2 \quad F_{1yP} \quad \sum_1^6 \left(F_{1yi} l_{1i} + F_{1xi} \frac{B_{1i}}{2} \right) \quad F_{1yP} l_{1P} \right]^T$$

$$u_2 = \left[Y_2 T_2 \quad \sum_1^4 (F_{2xi} - F_{2cl}) \quad X_2^2 \quad F_{2xP} \quad X_2 T_2 \quad \sum_1^4 F_{2yi} \quad Y_2^2 \quad F_{2yP} \quad \sum_1^4 \left(F_{2yi} l_{2i} + F_{2xi} \frac{B_{2i}}{2} \right) \quad F_{2yP} l_{2P} \right]^T$$

Véc tơ đầu ra:

$$y = [x_1 \quad y_1 \quad \psi_1 \quad x_2 \quad y_2 \quad \psi_2]^T$$

Các ma trận hệ số A, B, C, D:

$$A = \begin{bmatrix} 0_3 & E_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & E_1 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \end{bmatrix}_{(12 \times 12)} \quad B = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} \\ B_1 & B_2 & B_3 & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} \\ 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} \\ 0_{3 \times 4} & 0_{3 \times 4} & B_4 & B_5 & B_6 \end{bmatrix}_{(12 \times 20)}$$

Trong đó, các ma trận thành phần gồm:

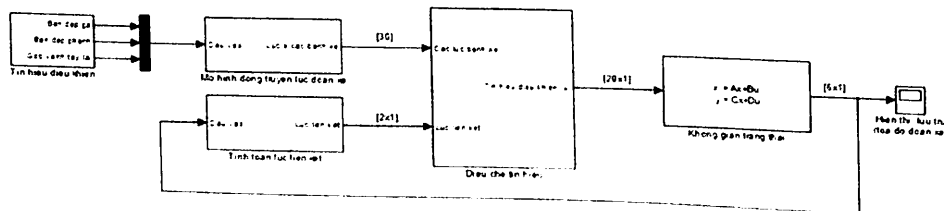
$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{-K_{1x} S_{1x}}{m_1} & \frac{-1}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3 \times 4)} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & \frac{-K_{1y} S_{1y}}{m_1} & \frac{-1}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3 \times 4)}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_1} & \frac{1}{J_1} \end{bmatrix}_{(3 \times 4)} \quad B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{-K_{2x} S_{2x}}{m_2} & \frac{-1}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3 \times 4)}$$

$$B_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & \frac{-K_{2y} S_{2y}}{m_2} & \frac{-1}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(3 \times 4)} \quad B_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_2} & \frac{1}{J_2} \end{bmatrix}_{(3 \times 4)}$$

$$C = \begin{bmatrix} E_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & E_3 & 0_3 \end{bmatrix}_{(6 \times 12)} \quad D = 0_{6 \times 20}$$

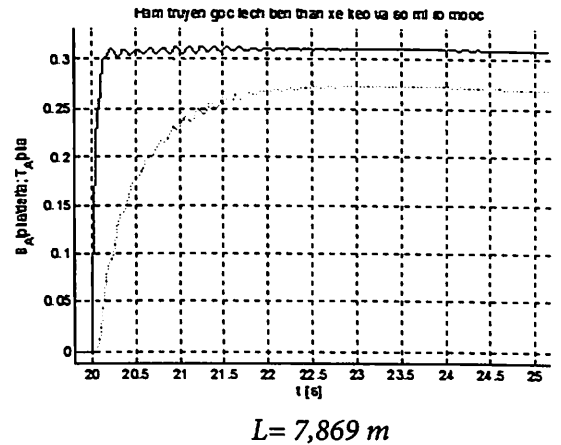
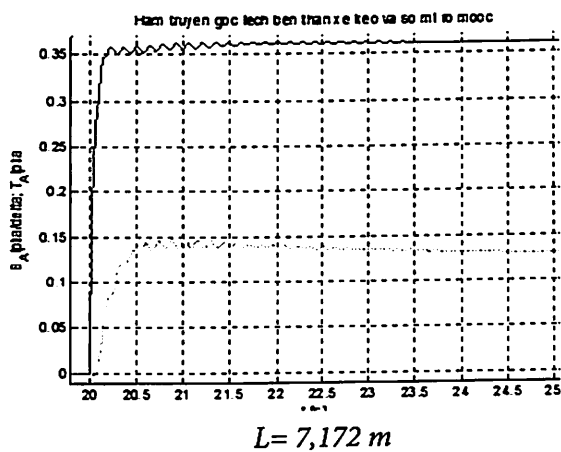
Với cơ sở lý thuyết như trên, theo [4], [6], ta có thể xây dựng mô hình giải hệ phương trình vi phân (1) theo lý thuyết không gian trạng thái được xây dựng trong Simulink như trên hình 2:



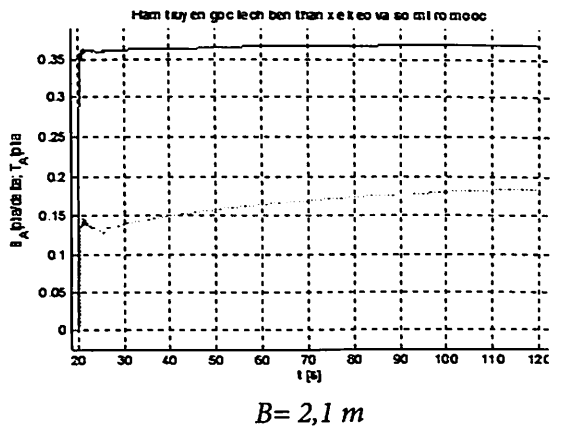
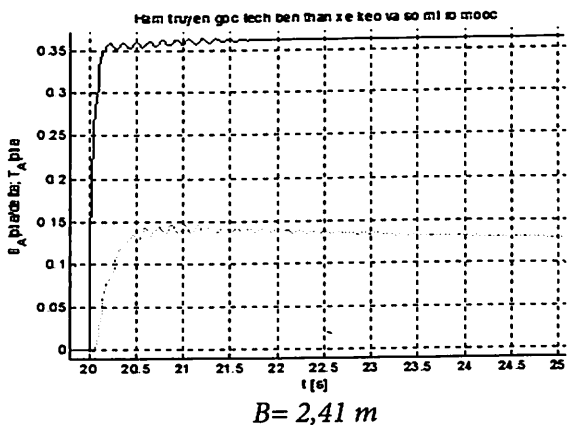
Hình 2. Mô hình giải hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của đoàn xe bằng không gian trạng thái trong Simulink

3. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THAM SỐ KẾT CẤU

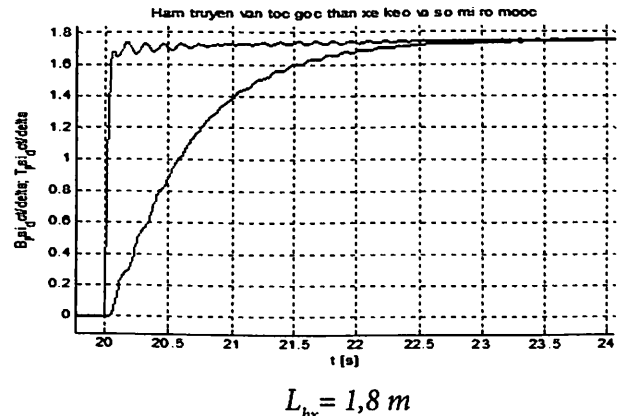
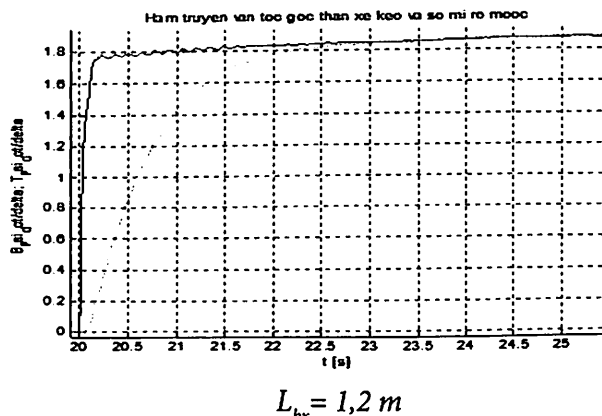
Theo [2], chế độ khảo sát: Đoàn xe tăng tốc đến giây thứ 10, đánh lái đột ngột (dạng tín hiệu bậc thang từ 0 lên 10°), khảo sát một số đáp ứng của động lực học đoàn xe thông qua các hàm truyền vận tốc góc, góc lệch bên,...khi thay đổi một số tham số kết cấu (chiều dài cơ sở-L, chiều rộng cơ sở-B, khoảng cách các trục của sơ-mi-rơ-móc- L_{bx}). Kết quả khảo sát được thể hiện trên các hình 3, 4, 5, 6.



Hình 3. Hàm truyền góc lệch bên của đoàn xe khi thay đổi chiều dài cơ sở của sơ-mi-rơ-móc



Hình 4. Hàm truyền góc lệch bên của đoàn xe khi thay đổi chiều rộng cơ sở của sơ-mi-rơ-móc



Hình 5. Hàm truyền vận tốc góc của đoàn xe khi thay đổi khoảng cách giữa các trục của sơ-mi-rơ-móc

Nhận xét một số kết quả khảo sát:

Hình 3, thể hiện ảnh hưởng của việc thay đổi chiều dài cơ sở của sơ-mi-rơ-moóc (khoảng cách từ trục kéo đến tâm cụm cầu sơ-mi-rơ-moóc) đến giá trị góc lệch bên của xe kéo và sơ-mi-rơ-moóc. Theo đó, khi $L=7,172$ m, ta thấy, giá trị lớn nhất của hàm truyền góc lệch bên của sơ-mi-rơ-moóc nhỏ hơn khi $L=7,869$ m. Tức là cùng một tín hiệu đầu vào là góc bánh xe dẫn hướng, góc lệch bên của sơ-mi-rơ-moóc có chiều dài cơ sở nhỏ hơn sẽ nhỏ hơn, ít gây ra hiện tượng trượt hơn, ít mòn lốp hơn...

Tương tự, ta có thể sơ bộ đánh giá tính hợp lý của tham số kết cấu (tham số thiết kế) dựa trên kết quả tính toán, mô phỏng: Hình 4, thể hiện ảnh hưởng của việc thay đổi giá trị tham số chiều rộng cơ sở của sơ-mi-rơ-moóc, hình 5 thể hiện sự thay đổi của giá trị hàm truyền vận tốc góc của xe kéo và sơ-mi-rơ-moóc khi thay đổi giá trị khoảng cách giữa các trục của sơ-mi-rơ-moóc (giả thiết sơ-mi-rơ-moóc có 02 trục cách nhau một khoảng L_{bx}). Nếu giá trị thời gian trở về ổn định càng bé, tham số kết cấu càng có tính hợp lý cao, kết cấu chịu tác động nhỏ hơn và sẽ bền hơn...

4. KẾT LUẬN

Với mô hình khảo sát động lực học quay vòng đoàn xe trên, sử dụng lý thuyết không gian trạng thái để giải hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của đoàn xe, ta có thể mô phỏng động lực học, khảo sát ảnh hưởng của việc thay đổi một số tham số kết cấu đến động lực học quay vòng của đoàn xe. Kết quả tính toán, mô phỏng có thể được sử dụng để đánh giá sơ bộ tính hợp lý của tham số thiết kế, giúp giảm thiểu khối lượng tính toán, nâng cao chất lượng thiết kế các loại đoàn xe. ❖

Ngày nhận bài: 12/3/2016

Ngày phản biện: 24/5/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Phúc Hiếu, Vũ Đức Lập (2002); *Lý thuyết ô tô quân sự*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2]. Nguyễn Khắc Trai (1997); *Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô*, NXB. Giao thông Vận tải.
- [3]. Phạm Hoàng Minh (2012); *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu đến khả năng quay vòng của đoàn xe*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [4]. Hans B. Pacejka, *Tyre and Vehicle Dynamics*, Butterworth Heinemann, 2002.
- [5]. Reza N. Jazar, *Vehicle dynamics: Theory and Applications*, Springer, 2008.
- [6]. Mathworks, *Simulink® User's Guide R2011b*, Mathworks Inc, 2011.