

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài:

Kết cấu dạng tấm mỏng chịu tác dụng của tải trọng di động thường gặp trong các lĩnh vực giao thông vận tải, xây dựng, quốc phòng, chẳng hạn các tấm mặt cầu dưới tác dụng của xe cộ, các dải vệt chống lầy trang bị trong công binh, xe chạy trên mặt cầu phao, máy bay chạy trên đường băng hay trên các tàu sân bay, v.v. Nghiên cứu, tính toán, lựa chọn các thông số hợp lý cho kết cấu tấm mỏng chịu tải trọng di động nhằm nâng cao hiệu quả khai thác, sử dụng, đảm bảo an toàn, kéo dài tuổi thọ, phục vụ tốt hơn cho nền kinh tế và an ninh quốc phòng là điều cần thiết, cấp bách và có tính thời sự hiện nay. Do đó, vấn đề **“Phân tích động lực học kết cấu tấm mỏng chịu tải trọng di động”** mà luận án tập trung giải quyết có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

### Mục tiêu của luận án:

- Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích động lực học kết cấu tấm mỏng chịu tác dụng của hai mô hình tải trọng di động: khối lượng di động (mô phỏng xe bánh xích) và hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự do).
- Khảo sát ảnh hưởng của một số thông số đến phản ứng động của tấm.
- Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình tấm mỏng chịu tác dụng của tải trọng di động với các điều kiện liên kết khác nhau.

### 2. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu của luận án:

**Về kết cấu:** Tấm mỏng chịu uốn với các liên kết cứng tuyệt đối và các liên kết đàn hồi tuyến tính;

**Về tải trọng:** Khối lượng di động (mô phỏng xe bánh xích) và hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự do) với vận tốc không đổi hoặc thay đổi, quỹ đạo di chuyển của tải trọng là bất kỳ;

Mục tiêu giải quyết của bài toán: Xác định phản ứng động của tấm..

### 3. Cấu trúc của luận án:

Luận án gồm 152 trang thuyết minh, trong đó có 20 bảng, 79 đồ thị, hình vẽ, 69 tài liệu tham khảo, 20 trang phụ lục, được cấu trúc bởi phần mở đầu, 4 chương, phần kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và phần phụ lục.

**Mở đầu:** Trình bày tính cấp thiết của đề tài, mục tiêu, đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu của luận án

**Chương 1:** Tổng quan vấn đề nghiên cứu

**Chương 2:** Phân tích dao động của tấm mỏng chịu tải trọng di động bằng phương pháp phần tử hữu hạn

**Chương 3:** Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến dao động của tấm chịu tác dụng của tải trọng di động

**Chương 4:** Nghiên cứu phản ứng động của tấm chịu tác dụng của tải trọng di động bằng thực nghiệm

**Kết luận chung:** Trình bày các kết quả chính, những đóng góp mới của luận án và các kiến nghị.

#### **4. Phương pháp nghiên cứu:**

Nghiên cứu bằng lý thuyết tính theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) kết hợp với thực nghiệm.

## **NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN AN**

### **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

Trình bày các kết quả nghiên cứu trong nước và trên thế giới về tải trọng di động và tính toán kết cấu chịu tải trọng di động. Từ các công trình đã công bố, trên cơ sở các vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu và phát triển, tác giả luận án tập trung vào vấn đề: “ *Phân tích động lực học kết cấu tấm mỏng chịu tác dụng của tải trọng di động*”. Theo đó, luận án sẽ tập trung giải quyết các nội dung chủ yếu sau:

1) Nghiên cứu tổng quan về tải trọng di động và tính toán kết cấu chịu tải trọng di động làm cơ sở cho việc lựa chọn nội dung, phương pháp giải quyết vấn đề của luận án.

2) Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích động lực học kết cấu tấm mỏng trên các liên kết cứng tuyệt đối và liên kết đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của hai mô hình tải trọng di động: khối lượng di động và hệ dao động.

3) Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố, như: vật liệu kết cấu, tính chất của tải trọng, thông số hình học của kết cấu, tính chất của liên kết, v.v đến đặc trưng dao động của tấm.

4) Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình, phân tích động lực học tấm mỏng chịu tác dụng của tải trọng di động, với hai trường hợp liên kết: liên kết ngàm bốn cạnh và liên kết đàn hồi tuyến tính theo chu vi tấm, với các chiều dày của tấm khác nhau.

## CHƯƠNG 2. PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG CỦA TẤM MỎNG CHỊU TẢI TRỌNG DI ĐỘNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PTHH

### 2.1. Đặt vấn đề

Trong chương này tác giả xây dựng thuật toán PTHH và chương trình tính cho 2 lớp bài toán sau:

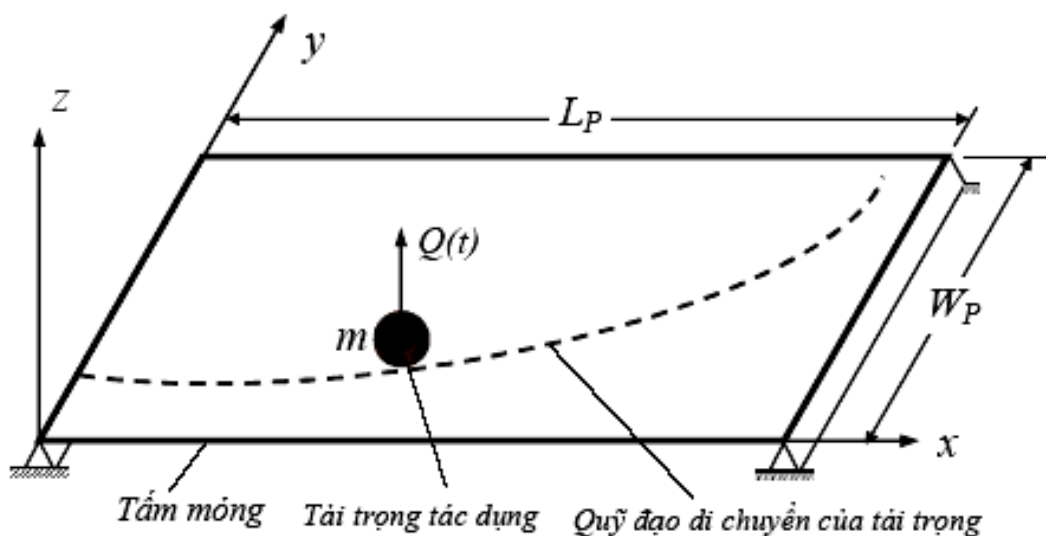
**Lớp bài toán thứ nhất:** Dao động của tấm mỏng trên liên kết cứng tuyệt đối và trên liên kết đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của khối lượng di động;

**Lớp bài toán thứ hai:** Dao động của tấm mỏng trên liên kết cứng tuyệt đối và trên liên kết đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của hệ dao động di động.

### 2.2. Xây dựng thuật toán PTHH phân tích dao động của tấm mỏng chịu tải trọng di động

#### 2.2.1. Giới thiệu bài toán và các giả thiết

Xét kết cấu tấm mỏng chịu tác dụng của tải trọng di động theo một quỹ đạo cho trước với vận tốc không đổi hoặc thay đổi, điều kiện liên kết bất kỳ. Mô hình bài toán thể hiện như trên hình 2.1.



**Hình 2.1.** Mô hình tấm trên liên kết cứng tuyệt đối chịu tải trọng di động

Bài toán được giải quyết trên cơ sở các giả thiết sau:

Vật liệu tấm làm việc trong giới hạn đàn hồi, quan hệ ứng suất - biến dạng là tuyến tính. Biến dạng và chuyển vị của kết cấu là bé. Tấm mỏng,

tuân thủ định luật Kirchhoff-Love. Tải trọng không tách khỏi bề mặt tấm trong quá trình hệ làm việc.

### 2.2.2. Phương trình dao động tổng quát của hệ

Dưới tác dụng của tải trọng động, trong trường hợp tổng quát, phương trình dao động của hệ được viết dưới dạng như sau [45], [68], [69]:

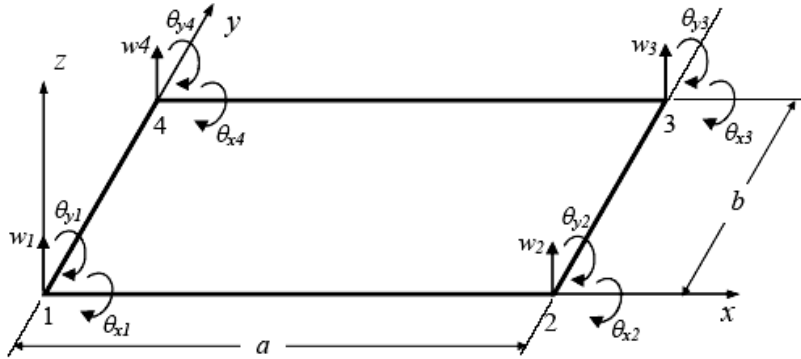
$$M \ddot{q} + C \dot{q} + K q = F \quad (2.1)$$

trong đó:  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  là các ma trận khối lượng, cản và độ cứng tổng thể của hệ.

### 2.2.3. Xây dựng các ma trận và véc tơ tải trọng phần tử thông thường

#### 2.2.3.1. Phần tử tấm chịu uốn

Xét phần tử tấm chữ nhật chịu uốn 4 nút, kích thước  $a \times b$ , chiều dày  $h$ , mỗi nút có 3 bậc tự do  $w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}$  ( $i = 1 \div 4$ ) trong hệ tọa độ tổng thể  $xyz$ . Mô hình hình học và các bậc tự do của phần tử như trên hình 2.3.



**Hình 2.3.** Mô hình hình học, bậc tự do của phần tử tấm chữ nhật chịu uốn

$$\text{Ma trận độ cứng: } \begin{bmatrix} K_0^e \\ 0 \ 0 \end{bmatrix}_{(12 \times 12)} = \int_0^a \int_0^b [k]_e \, dx dy = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [k]_e |J| \, dr ds, \quad (2.12)$$

$$\text{Véc tơ tải trọng nút của phần tử: } \begin{Bmatrix} P_0^e \\ \end{Bmatrix}_{(12 \times 1)} = \int_{A_e} [N^e]^T p \, dA, \quad (2.13)$$

$$\text{Ma trận khối lượng: } \begin{bmatrix} M_0^e \\ \end{bmatrix}_{(12 \times 12)} = \int_{V_e} \rho [N^e]^T [N^e] \, dV, \quad (2.15)$$

#### 2.2.3.2. Phần tử gôỉ đàn hồi

$$\text{Ma trận độ cứng } [K^e]_{\text{pill}} : [K^e]_{\text{pill}} = \begin{bmatrix} k_{\text{pill}} & -k_{\text{pill}} \\ -k_{\text{pill}} & k_{\text{pill}} \end{bmatrix}, \quad (2.17)$$

$$\text{Ma trận khối lượng } [M^e]_{\text{pill}} : [M^e]_{\text{pill}} = \begin{bmatrix} m_{\text{pill}} & 0 \\ 0 & m_{\text{pill}} \end{bmatrix}. \quad (2.18)$$

## 2.2.4. Xây dựng các véc tơ tải trọng và ma trận bổ sung do tải trọng di động

### 2.2.4.1. Phần tử tấm chịu tác dụng của khối lượng di động với vận tốc thay đổi:

Xét phần tử tấm chữ nhật  $a \times b$ , chiều dày  $h$ , môđun đàn hồi  $E$ , hệ số Poisson  $\nu$ , khối lượng riêng  $\rho$ . Khối lượng  $m$  di chuyển trên phần tử tấm với vận tốc thay đổi theo thời gian  $\vec{v} = \vec{v}(t)$  với quỹ đạo chuyển động  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$  cho trước. Lực tác dụng lên tấm tại vị trí  $(x = \xi; y = \eta)$  [49]:

$$R(x, y, t) = \left[ Q(t) - m \frac{d^2 w(x, y, t)}{dt^2} \right] \Bigg|_{\substack{x=\xi \\ y=\eta}} \quad (2.19)$$

$$\text{Véc tơ tải trọng: } \{F^e(t)\} = \{P^e(t)\} - [M_p] \{\ddot{q}^e\} - [C_p] \{\dot{q}^e\} - [K_p] \{q^e\}, \quad (2.45)$$

trong đó các ma trận và véc tơ bổ sung:

$$\{P^e(t)\} = [N^e(\xi, \eta)]^T Q(t) \quad (2.50)$$

$$[M_p^e] = m [N^e(\xi, \eta)]^T [N^e(\xi, \eta)] \quad (2.51)$$

$$[C_p^e] = 2m [N^e(\xi, \eta)]^T \left( \dot{x} [N_x^e(\xi, \eta)] + \dot{y} [N_y^e(\xi, \eta)] \right) \quad (2.52)$$

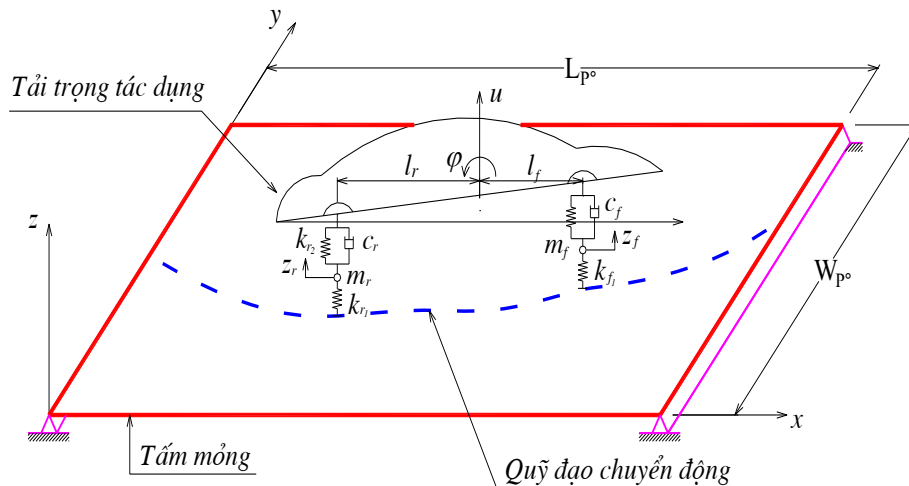
$$[K_p^e] = m [N^e(\xi, \eta)]^T \left( \dot{x}^2 [N_{xx}^e(\xi, \eta)] + \dot{y}^2 [N_{yy}^e(\xi, \eta)] + \right. \\ \left. + 2\dot{x}\dot{y} [N_{xy}^e(\xi, \eta)] + \ddot{x} [N_x^e(\xi, \eta)] + \ddot{y} [N_y^e(\xi, \eta)] \right) \quad (2.53)$$

Phương trình vi phân dao động phần tử tấm:

$$\left( [M_0^e] + [M_p^e] \right) \{\ddot{q}^e\} + \left( [C_0^e] + [C_p^e] \right) \{\dot{q}^e\} + \left( [K_0^e] + [K_p^e] \right) \{q^e\} = \{P^e(t)\} \quad (2.55)$$

### 2.2.4.2. Phần tử tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động với vận tốc thay đổi:

Tấm chịu hệ dao động di động (xe bánh lốp 2 cầu, 4 bậc tự do) – Hình 2.6.



**Hình 2.6.** Mô hình xe 4 bậc tự do di chuyển trên tấm

Phương trình vi phân dao động hệ xe 4 bậc tự do và phần tử tấm:

$$[M^e]_v \ddot{q}^e_v + [C^e]_v \dot{q}^e_v + [K^e]_v q^e_v = F^e_v, \quad (2.79)$$

$$\text{Ma trận khối lượng: } [M^e]_v = \begin{bmatrix} [M^{e1}] & [0] & -[M^{lr}] \\ [0] & [M^{e2}] & -[M^{lf}] \\ [0] & [0] & [M^x] \end{bmatrix} = [M^e_t] + [M^e_p]_v$$

$$\text{Ma trận độ cứng: } [K^e]_v = \begin{bmatrix} [K^{e1}] & [0] & -[K^{lr}] \\ [0] & [K^{e2}] & -[K^{lf}] \\ [0] & [0] & [K^x] \end{bmatrix} = [K^e_t] + [K^e_p]_v$$

$$\text{Ma trận cản: } [C^e]_v = \begin{bmatrix} [C^{e1}] & [0] & -[C^{lr}] \\ [0] & [C^{e2}] & -[C^{lf}] \\ [0] & [0] & [C^x] \end{bmatrix} = [C^e_t] + [C^e_p]_v \quad (2.82)$$

$$\text{Vectơ tải trọng nút: } \{F^e\}_v = \left\{ \{0\} \quad \{0\} \quad \{F^x\} \right\}^T, \quad (2.83)$$

$$\{F^x\} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ k_{lr} [N(\xi_1, \eta_1)] [G]^{-1} \{q^{e1}\} \\ k_{lf} [N(\xi_2, \eta_2)] [G]^{-1} \{q^{e2}\} \end{array} \right\}.$$

$[M^e_t]$ ,  $[C^e_t]$  và  $[K^e_t]$  là các ma trận khối lượng, cản và độ cứng của bản thân phần tử tấm chịu uốn, không phụ thuộc vào tải trọng di động; các ma trận  $[M^e_p]_v$ ,  $[C^e_p]_v$  và  $[K^e_p]_v$  là các ma trận khối lượng, cản và độ cứng bổ sung, phụ thuộc vào tải trọng di động.

### 2.2.5. Ghép nối các ma trận phần tử vào ma trận chung của toàn hệ

Sau khi chuyển từ hệ toạ độ cục bộ phần tử về hệ toạ độ tổng thể, việc lắp ghép các ma trận, véc tơ tải trọng phần tử để tạo thành ma trận, véc tơ tải trọng tổng thể của kết cấu được tác giả thực hiện bằng phương pháp độ cứng trực tiếp [1], [12], [24], [68].

### 2.2.7. Phương trình vi phân mô tả dao động của toàn hệ

#### 2.2.7.1. Tải trọng tác dụng của khối lượng di động:

Sau khi xây dựng ma trận và véc tơ tải trọng tổng thể, từ (2.55), phương trình vi phân dao động của hệ:

$$[\mathbf{M}]_m \{\ddot{\mathbf{q}}\} + [\mathbf{C}]_m \{\dot{\mathbf{q}}\} + [\mathbf{K}]_m \{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{P}(t)\}_m, \quad (2.89)$$

trong đó:

$$\begin{cases} [\mathbf{M}]_m = \sum_e ([\mathbf{M}_0^e] + [\mathbf{M}_p^e]), \\ [\mathbf{K}]_m = \sum_e ([\mathbf{K}_0^e] + [\mathbf{K}_p^e]), \\ [\mathbf{C}]_m = \alpha_r \sum_e [\mathbf{M}_0^e] + \beta_r \sum_e [\mathbf{K}_0^e] + \alpha_r \sum_e [\mathbf{M}_p^e] + \beta_r \sum_e [\mathbf{K}_p^e] = \alpha_r [\mathbf{M}]_m + \beta_r [\mathbf{K}]_m, \\ \{\mathbf{P}(t)\}_m = \sum_e \{\mathbf{P}^e(t)\}. \end{cases}$$

Thực hiện phép khử biên, phương trình (2.89) được viết lại như sau:

$$[\bar{\mathbf{M}}]_m \ddot{\bar{\mathbf{q}}} + [\bar{\mathbf{C}}]_m \dot{\bar{\mathbf{q}}} + [\bar{\mathbf{K}}]_m \bar{\mathbf{q}} = \bar{\mathbf{P}}_m, \quad (2.91)$$

#### 2.2.7.2. Tải trọng tác dụng của hệ dao động di động:

Tương tự như trên, phương trình vi phân mô tả dao động của tải:

$$[\bar{\mathbf{M}}]_{os} \ddot{\bar{\mathbf{q}}}_{os} + [\bar{\mathbf{C}}]_{os} \dot{\bar{\mathbf{q}}}_{os} + [\bar{\mathbf{K}}]_{os} \bar{\mathbf{q}}_{os} = \bar{\mathbf{F}}_{os}, \quad (2.92)$$

Trong (2.92), các ma trận khối lượng  $[\bar{\mathbf{M}}]_{os}$ , độ cứng  $[\bar{\mathbf{K}}]_{os}$  phụ thuộc vào vị trí tải trọng di động, nên phụ thuộc vào thời gian, do đó ma trận cản  $[\bar{\mathbf{C}}]_{os}$  cũng phụ thuộc thời gian. Vì vậy phương trình (2.92) là phương trình vi phân tuyến tính có hệ số phụ thuộc vào thời gian.

Trong hai trường hợp tải trọng trên, để thuận lợi trong lập trình tính toán, phương trình (2.91) và phương trình (2.92) tương ứng với hai mô hình tải trọng được viết hình thức dưới dạng như sau:

$$[\bar{\mathbf{M}}] \ddot{\bar{\mathbf{U}}} + \mathbf{C} \dot{\bar{\mathbf{U}}} + \mathbf{K} \bar{\mathbf{U}} = \bar{\mathbf{R}}, \quad (2.93)$$

trong đó:  $[\bar{\mathbf{M}}] = [\bar{\mathbf{M}}_0] + [\bar{\mathbf{M}}_p]$ ,  $[\bar{\mathbf{K}}] = [\bar{\mathbf{K}}_0] + [\bar{\mathbf{K}}_p]$ ,  $[\bar{\mathbf{C}}] = [\bar{\mathbf{C}}_0] + [\bar{\mathbf{C}}_p]$ , với  $[\bar{\mathbf{M}}_0]$ ,  $[\bar{\mathbf{C}}_0]$  và  $[\bar{\mathbf{K}}_0]$  là các ma trận khối lượng, cản, độ cứng tổng thể của kết cấu, không phụ thuộc vào tải trọng di động. Còn  $[\bar{\mathbf{M}}_p]$ ,

$[\bar{C}_p]$  và  $[\bar{K}_p]$  là các ma trận khối lượng, cản, độ cứng tổng thể của kết cấu, phụ thuộc vào tải trọng di động, được cập nhật sau mỗi bước tính.

$\{\bar{U}\} \equiv \{\bar{q}\} \equiv \{w \quad \theta_x \quad \theta_y\}^T$ ,  $[\bar{M}] = [\bar{M}]_m$ ,  $[\bar{C}] = [\bar{C}]_m$ ,  $[\bar{K}] = [\bar{K}]_m$  và  $\{\bar{R}\} \equiv \{\bar{P}\}$  với trường hợp hệ chịu tác dụng của khối lượng di động;

$\{\bar{U}\} \equiv \{\bar{q}\}_{os} \equiv \{w \quad \theta_x \quad \theta_y \quad u \quad \phi \quad z_{2r} \quad z_{2f}\}^T$ ,  $[\bar{M}] = [\bar{M}]_{os}$ ,  $[\bar{C}] = [\bar{C}]_{os}$ ,  $[\bar{K}] = [\bar{K}]_{os}$  và  $\{\bar{R}\} \equiv \{\bar{F}\}_{os}$  với trường hợp hệ chịu tác dụng của hệ di động.

### 2.2.8. Thuật toán PTHH giải phương trình vi phân dao động tổng thể của hệ

Phương trình vi phân (2.93) được tác giả thực hiện bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark.

## 2.3. Chương trình tính và kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính

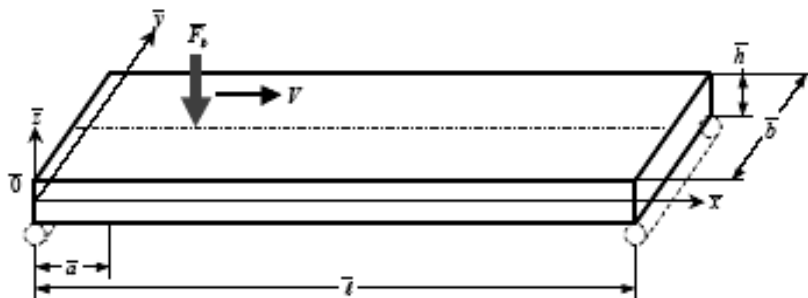
### 2.3.1. Giới thiệu chương trình tính

Trên cơ sở thuật toán đã trình bày, tác giả lập trình tính trong môi trường Matlab. Chương trình do tác giả xây dựng trên cơ sở phương pháp PTHH, có tên PLATE\_MOVING\_2012 có khả năng phân tích động tâm chịu tác dụng của tải trọng di động.

### 2.3.2. Kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính

Kiểm tra mức độ tin cậy của chương trình PLATE\_MOVING\_2012, tác giả tính toán so sánh trên cơ sở tâm chịu tác dụng của 2 mô hình tải trọng.

2.3.2.1. Trường hợp tâm chịu tác dụng của khối lượng di động: Sử dụng chương trình đã lập, tác giả giải bài toán so sánh với công trình của các tác giả Wu Jia-Jang và Chang Ku-Nan [63(2008)] đã công bố về nội dung phân tích dao động của tấm chữ nhật liên kết gối tựa 2 đầu, chịu tác dụng của khối lượng di động. Bài toán được các tác giả tính toán bằng phương pháp bán giải tích. Mô hình bài toán như hình 2.10.



**Hình 2.10.** Mô hình thực của bài toán [63]



Tấm chữ nhật, liên kết gối tựa dọc theo 2 cạnh ngắn, chiều dài  $l_x = 2,0\text{m}$ , bề rộng  $l_y = 1,0\text{m}$ , chiều dày  $h = 0,01\text{m}$ . Vật liệu có môđun đàn hồi  $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$ , khối lượng riêng  $\rho = 7820 \text{kg/m}^3$ , hệ số Poisson  $\nu = 0,29$ . Tải trọng là khối lượng  $m = 1\text{kg}$  di chuyển dọc theo trục  $x$  tại vị trí giữa tấm, vận tốc  $v = 0,2\text{m/s}$ . Điều kiện đầu:  $w(x,y,0) = 0, \left. \frac{\partial w}{\partial t} \right|_{t=0} = 0$ .

Sau khi tính toán, tác giả so sánh kết quả chuyển vị lớn nhất  $W_{\max}$  [cm] của điểm giữa tấm, cụ thể như bảng 2.1.

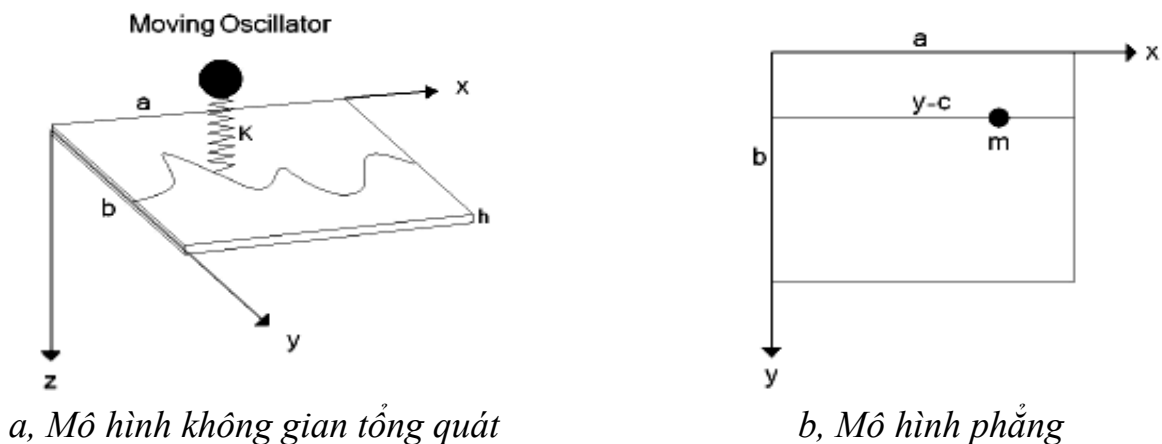
**Bảng 2.1.** Kết quả so sánh kiểm tra độ tin cậy chương trình tính

Đại lượng	Phương pháp		Sai số (%)
	<i>Jia-Jang Wu, Ku-Nan Chang [63]</i>	PLATE_MOVING_2012	
$W_{\max}$	0,00920	0,00932	1,30

2.3.2.2. Trường hợp tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động: Tính với mô hình bài toán và các thông số như trong [18(2009)] của Asghari M, Amir R. Ghahremani và Ghafoori E. Mô hình bài toán như hình 2.12. Tấm chữ nhật, dài  $a = 60\text{m}$ , rộng  $b = 30\text{m}$ , dày  $h = 15 \cdot 10^{-2} \text{m}$ , độ cứng chống uốn  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} = 7,1 \cdot 10^9 \text{Nm}$ , khối lượng riêng  $\rho = 7750 \text{kg/m}^3$ .

Tấm liên kết bản lề 4 cạnh, chịu tác dụng của hệ dao động di động, gồm: lò xo có độ cứng kéo, nén  $k = 10^9 \text{N/m}$  mang khối lượng  $m = 10^5 \text{kg}$ , chuyển động theo đường thẳng  $y = c = b/2 = 15\text{m}$ , với vận tốc không đổi  $v = 20\text{m/s}$ . Điều kiện đầu của bài toán:  $z(0) = \frac{mg}{k}$ ,  $w(x,y,0) = 0, \left. \frac{\partial w}{\partial t} \right|_{t=0} = 0$ .

Bài toán được các tác giả nghiên cứu bằng phương pháp giải tích.



**Hình 2.12.** Mô hình thực của bài toán [18]

Giải bài toán toán bằng bộ chương trình đã lập, kết quả so sánh về chuyển vị lớn nhất  $W_{\max}$  [cm] của điểm giữa tấm, cụ thể như bảng 2.2.

**Bảng 2.2.** Kết quả so sánh kiểm tra độ tin cậy chương trình tính

Đại lượng	Phương pháp		Sai số (%)
	<i>M.Asghari, Amir R. Ghahremani, E. Ghafoori [18]</i>	<i>PLATE_MOVING_2012</i>	
$W_{\max}$	1,768	1,797	1,64

**Nhận xét:** Với hai bài toán kiểm chứng đã thực hiện ở trên cho thấy sai số đều nhỏ hơn 1,65%, điều này có thể khẳng định chương trình tính PLATE\_MOVING\_2012 do tác giả lập đảm bảo độ tin cậy.

## 2.4. Kết luận chương 2

- Xây dựng thuật toán phần tử hữu hạn và chương trình tính PLATE\_MOVING\_2012 trong môi trường Matlab phân tích động lực của tấm chịu tác dụng của tải trọng di động với hai mô hình tải trọng như trên. Chương trình được kiểm chứng cho thấy đảm bảo tin cậy.

- Đặc biệt, ở đây theo tác giả việc xây dựng các ma trận bổ sung, các phương trình mô tả dao động và thuật toán cùng với chương trình cho bài toán tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự), trong đó xét đến biên dạng của tấm – bài toán tương tác là một đóng góp mới của tác giả.

## CHƯƠNG 3

### KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN DAO ĐỘNG CỦA TẤM CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

#### 3.1. Đặt vấn đề

Trên cơ sở ví dụ số của bài toán xuất phát, tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến phản ứng động của tấm chịu tác dụng của tải trọng di động theo hai mô hình như đã trình bày ở trong chương 2.

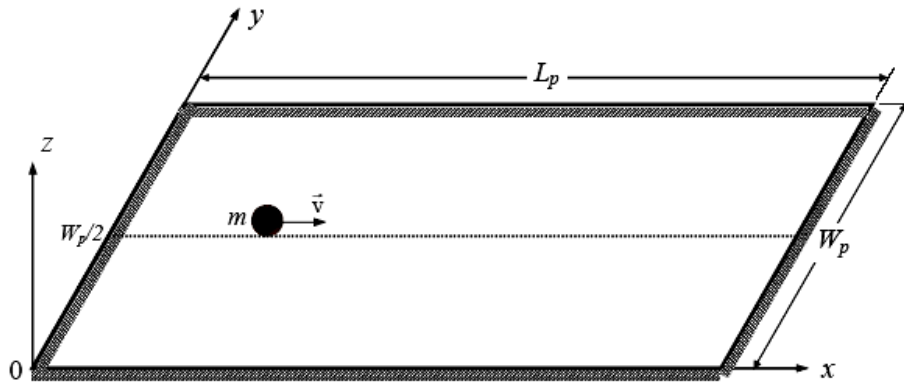
#### 3.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến sự làm việc của tấm trên liên kết cứng tuyệt đối chịu tác dụng của khối lượng di động

##### 3.2.1. Bài toán xuất phát

Thông số kết cấu: Tấm chữ nhật, vật liệu thép, chiều dài  $L_p = 15\text{m}$ , chiều rộng  $W_p = 12\text{m}$ , chiều dày  $h = 0,10\text{m}$ , mô đun đàn hồi  $E = 2,1 \cdot 10^{11}\text{N/m}^2$ , hệ số Poisson  $\nu = 0,3$ , khối lượng riêng  $\rho = 7800\text{kg/m}^3$ .

Thông số tải trọng: Tải trọng tác dụng là khối lượng  $m = 5.10^4 \text{kg}$  (mô phỏng xe tăng TX50 – *mô hình 1*), chuyển động trong mặt phẳng tấm theo quỹ đạo đường thẳng  $y = W_p/2$ , vận tốc  $v = 10 \text{m/s}$  (Hình 3.1).

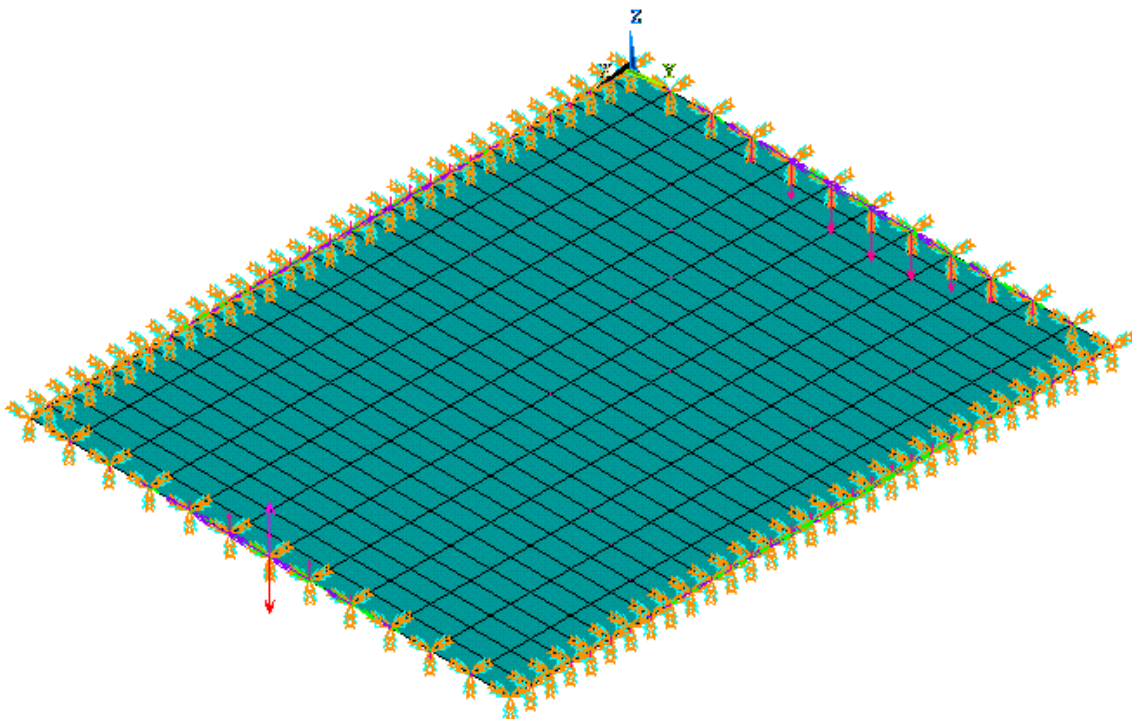
Điều kiện biên: Tấm được liên kết ngàm 4 cạnh.



**Hình 3.1.** Mô hình thực của bài toán

Điều kiện đầu của bài toán:  $\{\bar{U}\}_0 = 0$ ;  $\{\dot{\bar{U}}\}_0 = 0$ ,  $v(0) = v = 10 \text{m/s}$ .

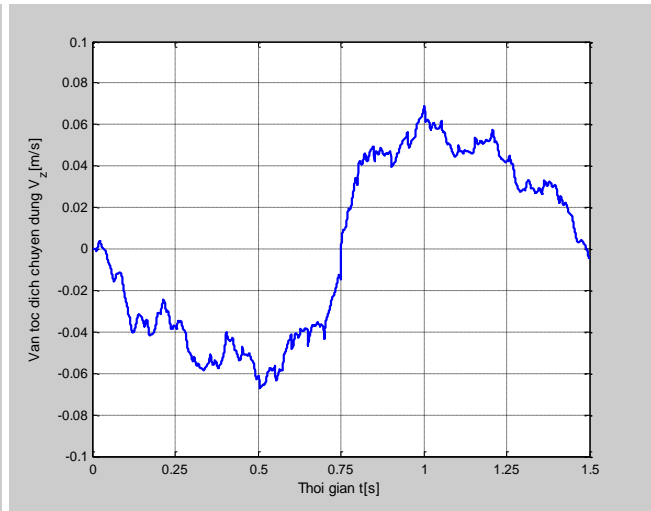
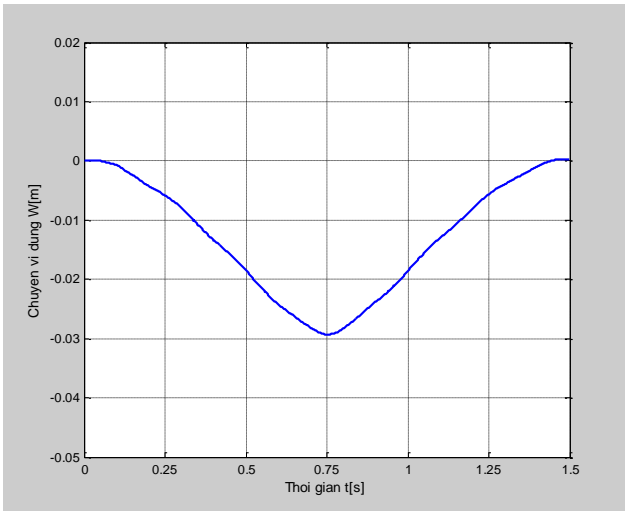
Tấm được rời rạc hoá bởi 360 phần tử, tương ứng với 403 nút, mô hình PTHH của bài toán thể hiện như trên hình 3.2.



**Hình 3.2.** Mô hình PTHH của bài toán

**Bài toán dao động riêng:** Giải bài toán dao động riêng, tác giả nhận được các tần số riêng và dạng dao động riêng, trong đó bốn tần số riêng đầu tiên [Hz]:  $f_1 = 5,16$ ,  $f_2 = 9,04$ ,  $f_3 = 11,87$ ,  $f_4 = 15,33$ .

**Bài toán dao động cưỡng bức:** Hình 3.4, 3.5 là đáp ứng chuyển vị đứng  $W$ , gia tốc  $\ddot{W}$  theo thời gian tại điểm đang xét của tấm.

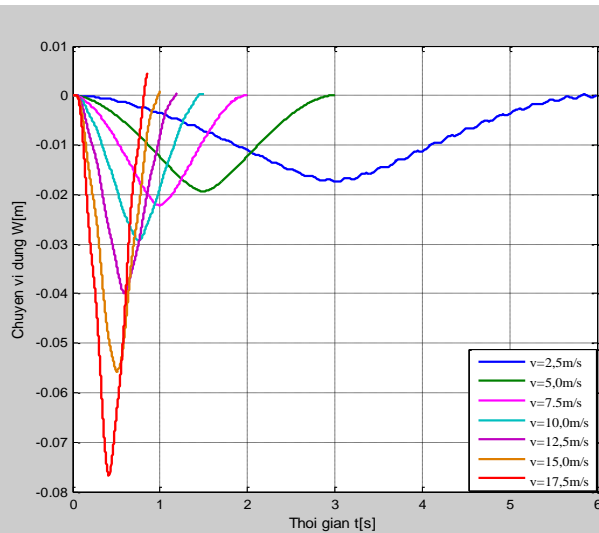
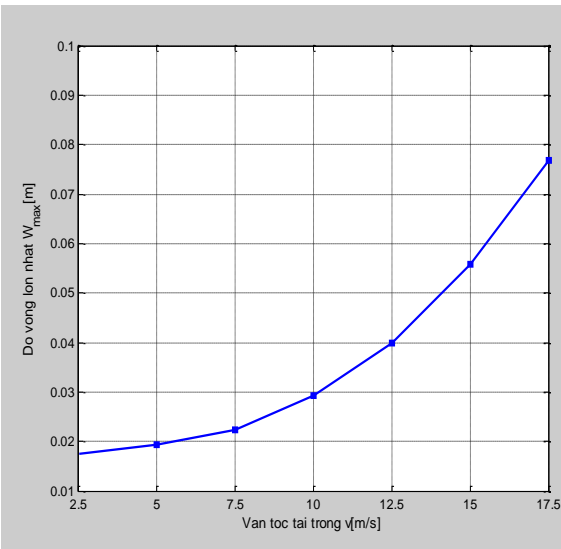


**Hình 3.4.** Đáp ứng  $W$  theo thời gian

**Hình 3.5.** Đáp ứng  $\ddot{W}$  theo thời gian

### 3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến sự làm việc của hệ

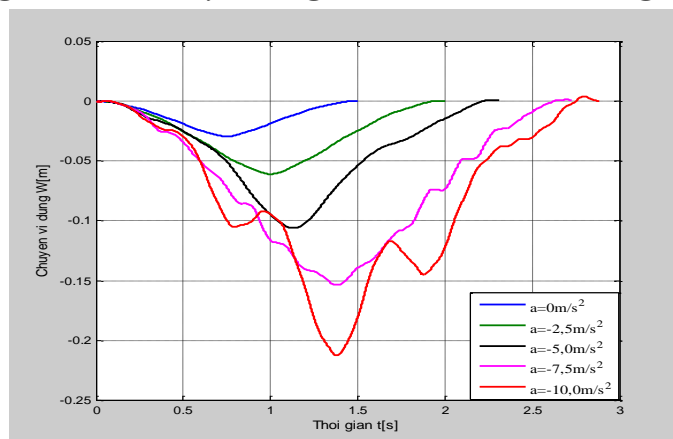
#### 3.2.2.2. Ảnh hưởng của tốc độ tải trọng:



**Hình 3.14.** Quan hệ  $W_{\max}$  -  $v$

**Hình 3.18.** Biến thiên  $W$ -  $t$

#### 3.2.2.3. Ảnh hưởng của sự thay đổi gia tốc của tải trọng:

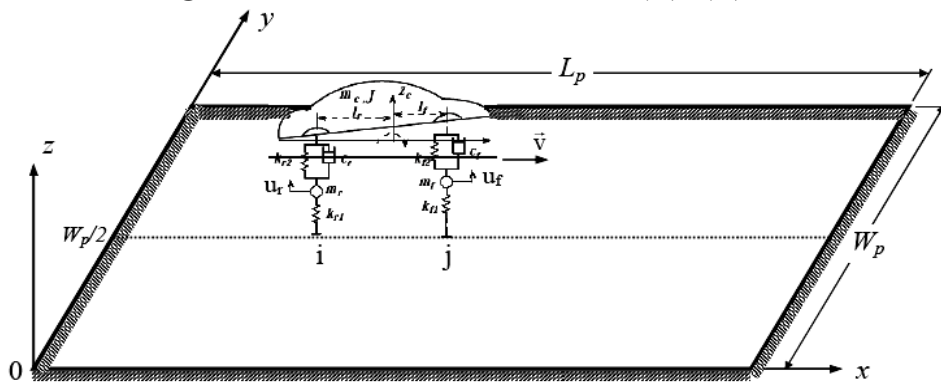


**Hình 3.19.** Biến thiên chuyển vị đứng  $W$  theo thời gian  $t$

### 3.3. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến sự làm việc của tấm trên liên kết cứng tuyệt đối chịu tác dụng của hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự do)

#### 3.3.1. Bài toán xuất phát

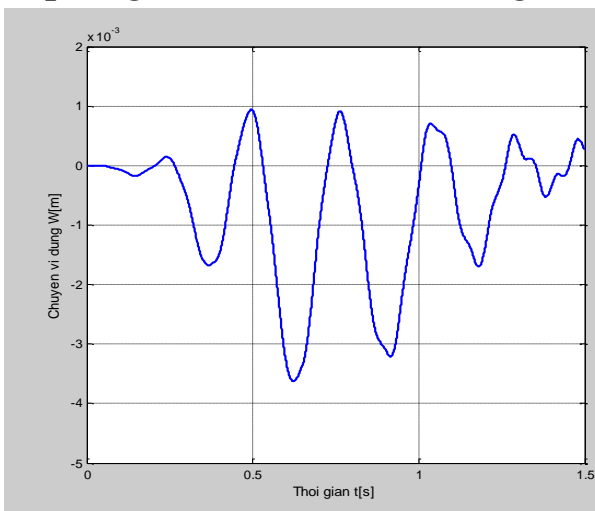
Xét bài toán với thông số kết cấu, điều kiện biên như **mục 3.2** ở trên, song tải trọng di động ở đây là 1 xe ô tô khách hạng nặng 8,5 tấn chạy trên tấm theo quỹ đạo đường thẳng  $y = W_p/2 = 6m$ , vận tốc  $v = 36,0km/h = 10m/s$ . Xe được mô hình hoá bằng hệ 4 bậc tự do gồm thân xe và trục bánh xe với các lò xo và giảm chấn như hình 3.30 (**mô hình 2**). Tỷ số khối lượng mô hình 1/mô hình 2 là  $(1)/(2) = 50/8,5 = 5,88$  lần.



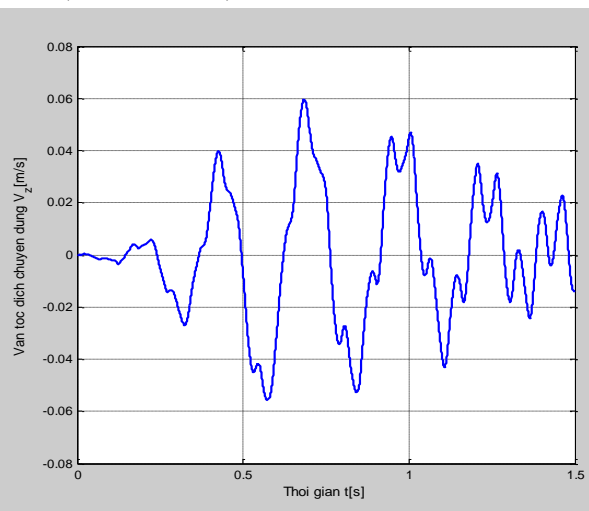
**Hình 3.31.** Mô hình tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động

Thông số tải trọng: khối lượng thân xe  $m = 7000kg$ ,  $m_f = 600kg$ ,  $m_r = 900kg$ , mômen quán tính đối với khối tâm  $J = 30000kgm^2$ , khoảng cách từ bánh trước và bánh sau đến khối tâm  $G$  lần lượt là  $l_f = 3,2m$ ,  $l_r = 1,8m$ , độ cứng các lò xo đàn hồi  $k_{f1} = 3000000N/m$ ,  $k_{f2} = 450000N/m$ ,  $k_{r1} = 4000000N/m$ ,  $k_{r2} = 700000N/m$ , các phần tử cản  $c_f = c_r = 500Ns/m$ .

Kết quả tính: Hình 3.32, 3.33 lần lượt là đáp ứng chuyển vị đứng  $W$ , đáp ứng vận tốc  $\dot{W}$  tại điểm giữa tấm  $A(7,5m,6m)$ .



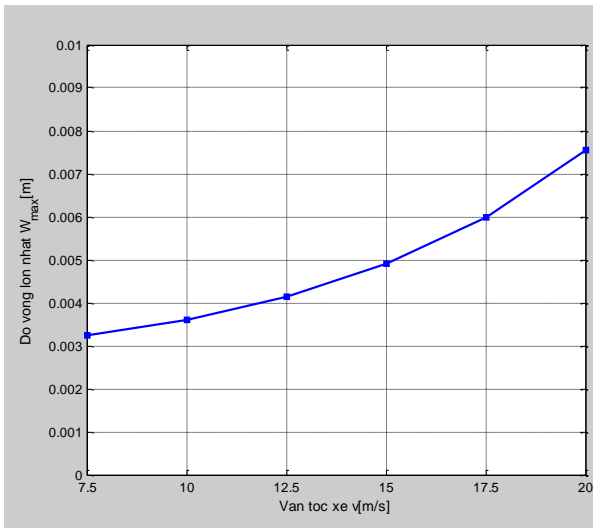
**Hình 3.32.** Đáp ứng  $W$  - thời gian



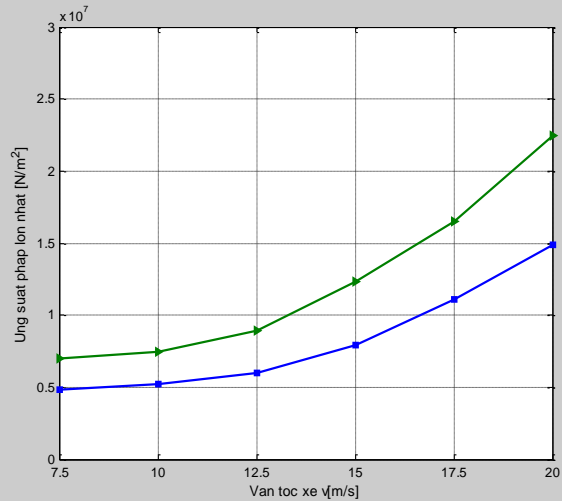
**Hình 3.33.** Đáp ứng  $\dot{W}$  - thời gian

### 3.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến sự làm việc của hệ

#### 3.3.2.1. Ảnh hưởng của tốc độ tải trọng



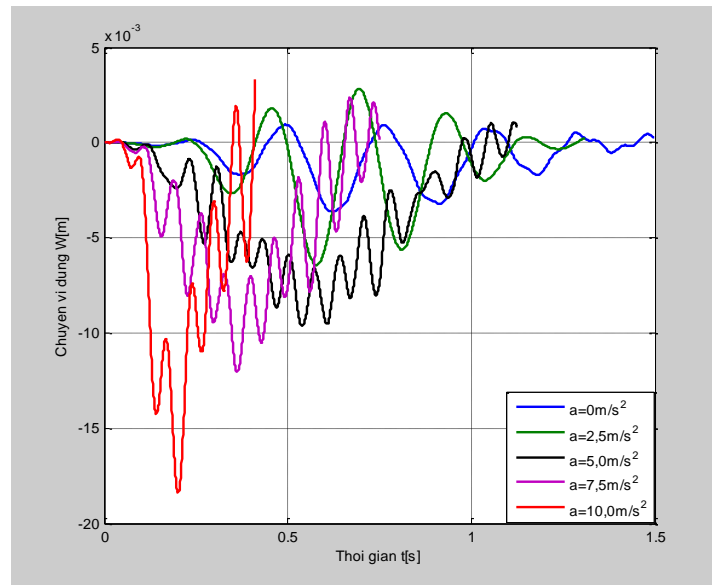
Hình 3.36. Quan hệ  $W_{max} - v$



Hình 3.39. Quan hệ  $\sigma_x^{max} - v$

#### 3.3.2.2. Ảnh hưởng của sự thay đổi gia tốc tải trọng

Khảo sát bài toán trên cho trường hợp vận tốc của xe biến thiên theo quy luật bậc nhất:  $v = v_0 + at$ , trong đó  $v_0 = 10m/s$  (36km/h).



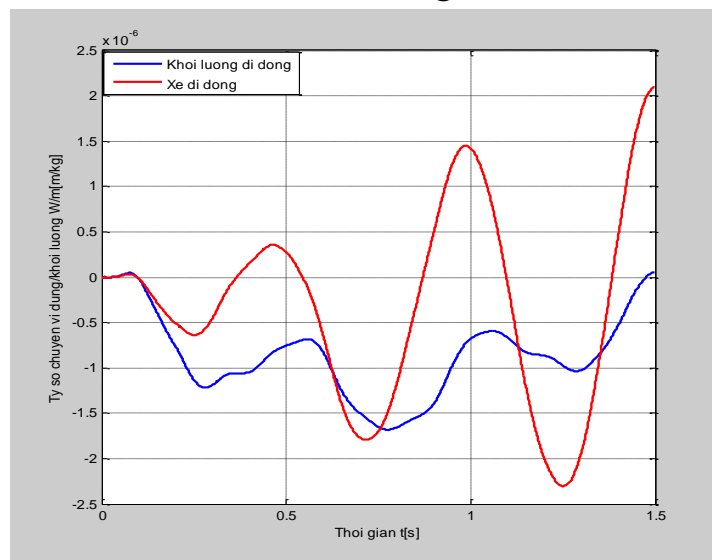
Hình 3.41. Biến thiên chuyển vị đứng  $W$  theo thời gian  $t$   
( $a = 0m/s^2, 2,5m/s^2, 5,0m/s^2, 7,5m/s^2, 10m/s^2$ )

**Nhận xét:** Khi thay đổi tốc độ trong quá trình tải trọng di chuyển, cả hai trường hợp với hai mô hình tải trọng đã xét, trường hợp tải trọng là khối lượng di động cho thấy giá trị chuyển vị lớn nhất của tấm tăng nhanh hơn khá nhiều so với trường hợp tải trọng là xe di động. Điều này cho thấy nếu cùng một khối lượng, mức độ nguy hiểm đối với tấm trong trường hợp khối lượng di động lớn hơn nhiều so với trường hợp xe di động.

### 3.4. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến phản ứng động của tấm trên liên kết đàn hồi tuyến tính chịu tải trọng di động

#### 3.4.1. Ảnh hưởng của mô hình tải trọng đến phản ứng động của tấm

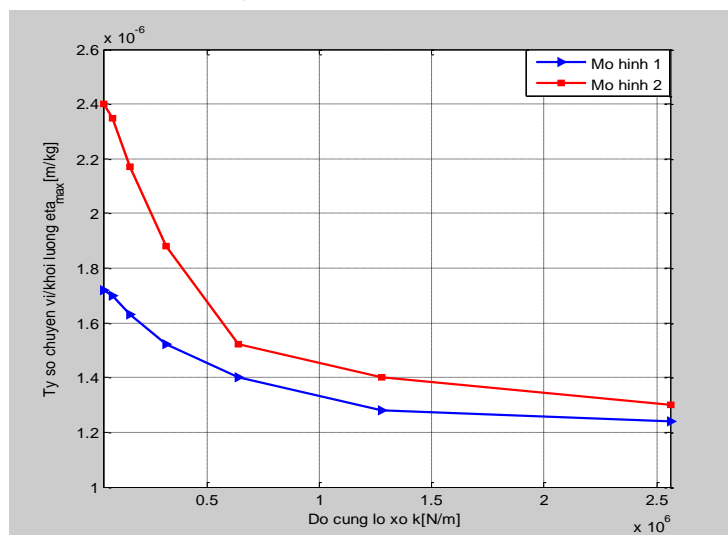
Giải bài toán tấm chịu hai mô hình tải trọng di động đã trình bày ở mục 3.2.1 và 3.3.1. Ở đây trên toàn bộ chu vi của tấm bố trí liên kết gối tựa đàn hồi tuyến tính, mô phỏng  $n = 84$  cái lò xo, độ cứng kéo, nén của mỗi liên kết  $k = 1,03 \cdot 10^5 \text{N/m}$ . Xét 2 mô hình tải trọng (mô hình 1) và (mô hình 2). Hình 3.50 là đáp ứng của tỷ số chuyển vị đứng tại điểm tính thuộc tấm trên tổng khối lượng của mô hình tải trọng ( $\eta_i(t) = W_i(t)/m_i$ , với  $i = 1,2$ ),  $W_1(t)$ ,  $W_2(t)$  là đáp ứng theo thời gian chuyển vị đứng tại điểm khảo sát với mô hình tải trọng 1 và 2;  $m_1 = 50$  tấn,  $m_2 = 8,5$  tấn.



**Hình 3.50.** Đáp ứng theo thời gian của tỷ số chuyển vị/khối lượng tải trọng

#### 3.4.2. Ảnh hưởng của độ cứng liên kết đến phản ứng động của tấm

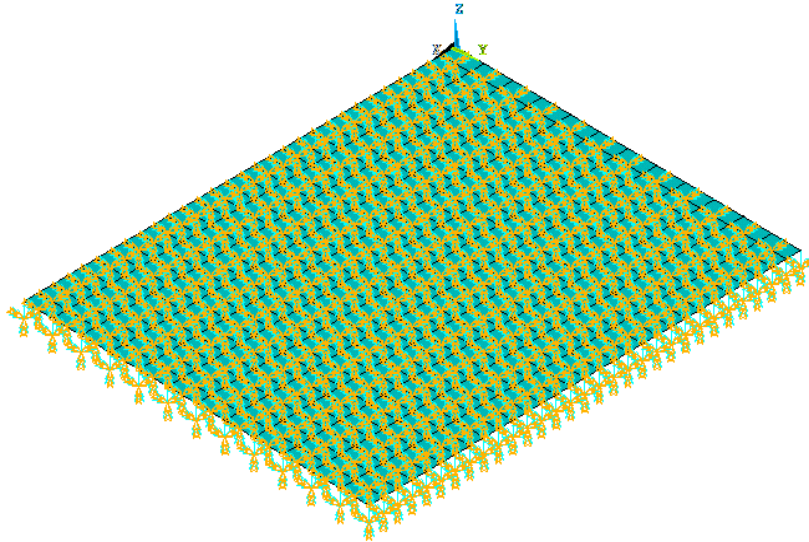
Khảo sát bài toán như mục 3.2.1 và 3.3.1, nhưng với độ cứng các liên kết thay đổi từ  $0,4 \cdot 10^5 \text{N/m}$  đến  $25,6 \cdot 10^5 \text{N/m}$ .



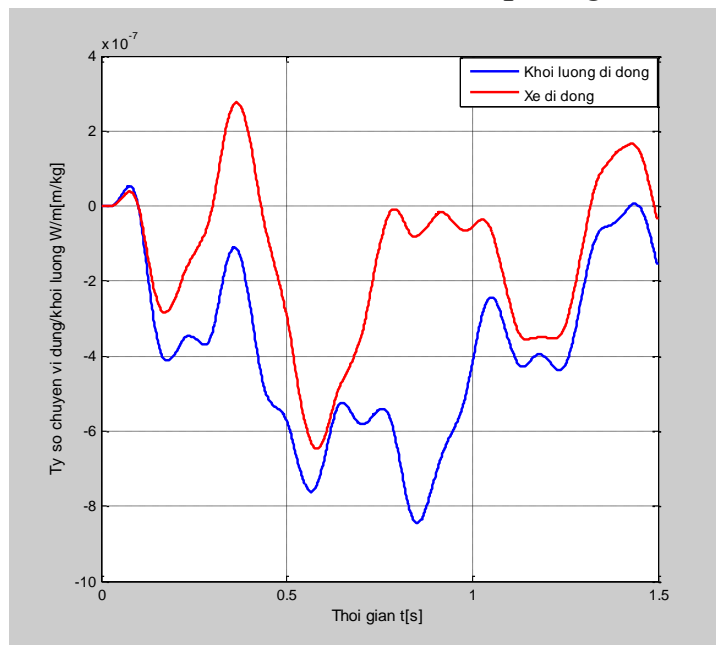
**Hình 3.51.** Biến thiên tỷ số  $\eta_{\max}$  theo độ cứng liên kết  $k$

### 3.4.3. Ảnh hưởng của cách bố trí liên kết đến phản ứng động của tấm

Đối với bài toán trong trường hợp này, các số liệu kết cấu, tải trọng như ở mục 3.2.1 và 3.3.1, trong đó bố trí 403 gối đàn hồi tuyến tính theo phương thẳng đứng (có độ cứng kéo, nén như đã xét ở mục 3.4.1) tại 403 nút (tất cả các nút) của tấm – hình 3.52.



**Hình 3.52.** Mô hình PTHH của bài toán mô phỏng tấm trên nền đàn hồi

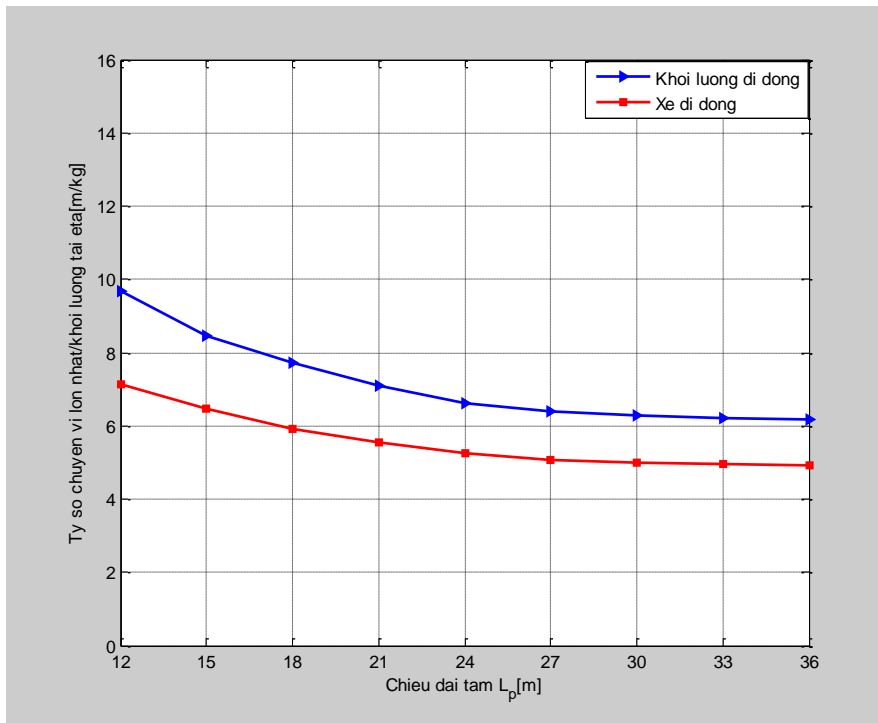


**Hình 3.53.** Đáp ứng theo thời gian của tỷ số chuyển vị/khối lượng tải trọng

### 3.4.4. Ảnh hưởng của chiều dài đến phản ứng động của tấm

Trong phần này tác giả giải bài toán như mục 3.4.3, với thông số chiều dài  $L_p$  của tấm thay đổi từ 12m đến 36m trên hai mô hình tải trọng tác dụng đã khảo sát. Trong đó số lượng liên kết đàn hồi sẽ thay đổi phụ thuộc vào kích thước chiều dài tấm, song tính chất của liên kết đàn hồi, kích thước phần tử tấm không thay đổi. Kết quả như đồ thị hình 3.54.





**Hình 3.54.** Đáp ứng theo chiều dài của tỷ số chuyển vị lớn nhất/khoi lượng tải

**Nhận xét:** Trong hai mô hình tải trọng đã xét, tỷ số chuyển vị/khoi lượng đối với mô hình tải trọng 1 (xe tăng TX50) bằng  $8,45 \cdot 10^{-7}$ , trong khi tỷ số này đối với mô hình tải trọng 2 (xe bánh lốp 4 bậc tự do) bằng  $6,47 \cdot 10^{-7}$ . Vậy trong trường hợp này kết cấu tấm chịu tác dụng của các loại xe bánh xích nguy hiểm hơn trường hợp chịu tác dụng của xe bánh lốp – đây là điều khác hoàn toàn với mô hình tấm trên liên kết đàn hồi phân bố chu vi chịu tác dụng của tải trọng di động.

### 3.5. Kết luận chương 3

- Từ kết quả khảo sát các lớp bài toán, nhận thấy: tính chất cản kết cấu không ảnh hưởng nhiều đến phản ứng động của tấm. Cả hai mô hình tải trọng thì vận tốc di chuyển của tải trọng đều có ảnh hưởng lớn đến chuyển vị, vận tốc, gia tốc và ứng suất của tấm. Sự thay đổi vận tốc (thông qua gia tốc di chuyển của tải trọng) có thể gây ra mất ổn định đối với tấm do chuyển vị tăng đột biến.

- Độ cứng của liên kết có ảnh hưởng lớn đến tỷ số lớn nhất  $\eta_{\max}$  giữa chuyển vị lớn nhất của vị trí khảo sát thuộc tấm và khoi lượng tải trọng trong cả hai mô hình tải trọng. Khi độ cứng của liên kết tăng, tỷ số lớn nhất  $\eta_{\max}$  với hai mô hình tải trọng đều giảm và có độ chênh lệch nhau càng nhỏ và độ chênh lệch này càng lớn khi độ cứng của liên kết càng giảm.

## CHƯƠNG 4

### NGHIÊN CỨU PHẢN ỨNG ĐỘNG CỦA TẤM CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG DI ĐỘNG BẰNG THỰC NGHIỆM

#### 4.1. Mục đích thí nghiệm

- Đánh giá bằng thực nghiệm phản ứng động của tấm với 2 dạng liên kết: liên kết ngàm 4 cạnh và liên kết đàn hồi (lò xo) theo chu vi tấm, với tải trọng tác dụng là khối lượng di động.

- Góp phần kiểm tra mức độ tin cậy của bộ chương trình tính PLATE\_MOVING\_2012 đã lập trong chương 2.

Thí nghiệm được tiến hành tại Phòng thí nghiệm Cơ học - Bộ môn Cơ học vật rắn – Học viện Kỹ thuật quân sự.

#### 4.2. Mô hình và các thiết bị thí nghiệm

##### 4.2.1. Mô hình thí nghiệm

Thử nghiệm trên kết cấu với 3 loại tấm bằng vật liệu thép, hình chữ nhật kích thước  $1,50\text{m} \times 0,75\text{m}$ , chiều dày các tấm lần lượt là  $h_1 = 0,002\text{m}$ ,  $h_2 = 0,003\text{m}$  và  $h_3 = 0,0045\text{m}$ . Trường hợp liên kết ngàm, bốn cạnh của tấm được liên kết với khung bằng hệ bulông vít chặt, còn trường hợp liên kết đàn hồi thì tấm liên kết với khung thông qua hệ 16 lò xo đàn hồi, độ cứng trung bình mỗi chiếc là  $29500\text{N/m}$ .



**Hình 4.1.** Mô hình thí nghiệm

## 4.2.2. Thiết bị thí nghiệm

### 4.2.2.1. Các thiết bị gây tải:

Để đảm bảo tốc độ của tải trọng, tác giả bố trí khối lượng  $m$  trên 01 máy bay 3 bánh điều khiển từ xa (có các giá trị tốc độ: 1m/s, 2m/s, 4m/s, 6m/s). Quả nặng  $m$  có các giá trị 1kg, 2kg, 3kg, 4kg và 5kg. Khối lượng máy bay  $m_{mb} = 0,2\text{kg}$ .

### 4.2.2.2. Cảm biến gia tốc:

Các cảm biến gia tốc dùng trong thí nghiệm là loại PV-90T của Nhật.

### 4.2.2.3. Thiết bị đo dao động:

Thiết bị đo dao động dùng trong thí nghiệm là máy đo động đa năng MGC-Plus. Máy này do hãng HBM (Đức) sản xuất – Hình 4.4.



**Hình 4.4.** Máy đo động đa năng MGC-Plus

## 4.3. Phương pháp xác định gia tốc, chuyển vị của kết cấu

Đầu đo gia tốc gắn vào vị trí giữa tấm, tại điểm mặt dưới, hướng trục đầu đo vuông góc với mặt trung bình tấm (Hình 4.5).



**Hình 4.5.** Tác giả tiến hành gắn đầu đo gia tốc lên tấm

Dưới tác dụng của tải trọng, tấm dao động và đồng nghĩa với đầu đo gia tốc dao động theo, tín hiệu đáp ứng gia tốc theo thời gian được truyền

về máy tính xử lý. Kết quả mỗi lần đo, tương ứng với một đầu đo có được bộ số liệu thể hiện đáp ứng gia tốc theo thời gian của vị trí trên kết cấu mà tại đó gắn đầu đo gia tốc. Từ đáp ứng gia tốc – thời gian, với bộ xử lý *deflection analysis* được tích hợp trong máy tính, tiến hành phân tích (tích phân số hai lần) và kết quả là có được đáp ứng chuyển vị theo phương vuông góc với mặt trung bình tâm tại điểm đo theo thời gian.

#### 4.4. Phân tích và xử lý kết quả thí nghiệm

Việc thu thập, tích hợp số liệu (đáp ứng gia tốc theo thời gian) của mỗi lần thí nghiệm được máy trong bộ thiết bị đo thực hiện. Đây là bộ số liệu chưa được xử lý thống kê. Để có được kết quả đo, tác giả phải tiến hành xử lý theo lý thuyết thống kê.

#### 4.5. Kết quả thí nghiệm

##### 4.5.1. Thử nghiệm trên kết cấu tấm với liên kết ngàm 4 cạnh chịu khối lượng di động

Tiến hành thí nghiệm với khối lượng  $m = 5\text{kg}$  chuyển động dọc theo phương cạnh dài phía chính giữa tấm, với vận tốc  $v = 1,0\text{m/s}$ . Đầu đo gia tốc được gắn tại vị trí giữa tấm (phí dưới).



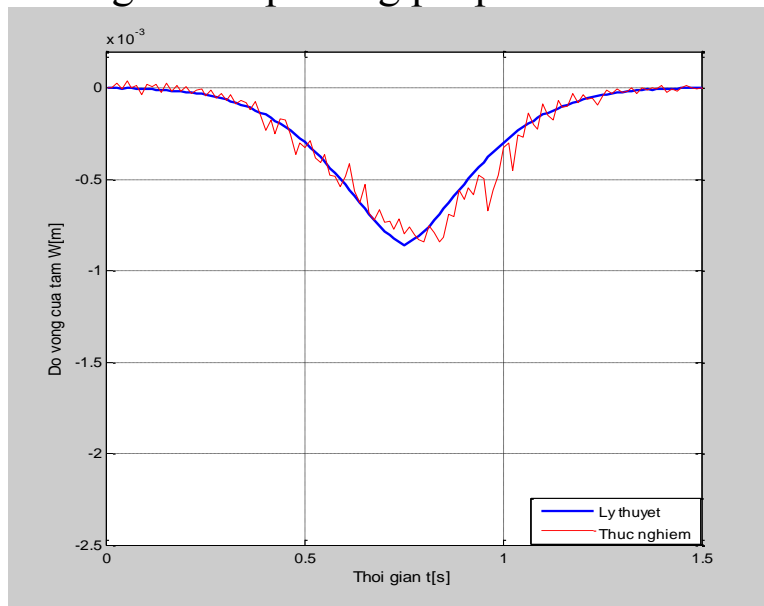
**Hình 4.6.** Tiến hành thí nghiệm trên tấm với tấm liên kết ngàm

Ứng với mỗi loại tấm, tại một điểm đo để xác định bộ số liệu đáp ứng gia tốc theo thời gian, tác giả tiến hành đo 15 lần ( $n = 15$ ). Bộ số liệu đo được xử lý thống kê và có được giá trị gia tốc lớn nhất, đồ thị đáp ứng gia tốc theo thời gian đại diện cho 15 lần đo đã thực hiện.



**Hình 4.7.** Thao tác trên máy đo

Hình 4.8 là đáp ứng chuyển vị - thời gian của điểm đo cho hai phương pháp: lý thuyết và thực nghiệm. Bảng 4.1 tóm tắt kết quả giá trị chuyển vị lớn nhất và sai số giữa hai phương pháp trên.



**Hình 4.8.** Đáp ứng chuyển vị – thời gian tại điểm khảo sát ( $h = 2mm$ )

**Bảng 4.1.** Giá trị chuyển vị lớn nhất của tấm (Trường hợp liên kết ngàm)

Chiều dày tấm $t[m]$		0,002	0,003	0,0045
Đại lượng		Chuyển vị lớn nhất $W_{max}[m]$		
Phương pháp	<i>PLATE_MOVING_2012</i>	$8,61 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-4}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$
	<i>Thực nghiệm</i>	$8,42 \cdot 10^{-4}$	$2,48 \cdot 10^{-4}$	$0,71 \cdot 10^{-4}$
Sai số [%]		2,26	4,43	5,64

**Nhận xét:** Đáp ứng chuyển vị - thời gian của hai phương pháp (lý thuyết và thực nghiệm) là khá đồng dạng, sai số các giá trị lớn nhất về chuyển vị ứng với 3 kích thước chiều dày tấm đều nhỏ hơn 5,7% - là giá trị sai số chấp nhận được.

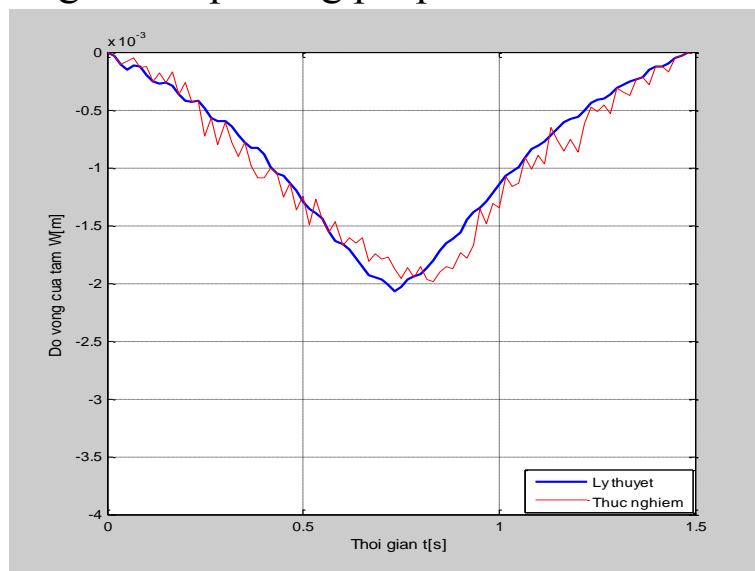
#### 4.5.2. Thử nghiệm trên kết cấu tấm với liên kết tựa lò xo đàn hồi trên 4 cạnh chịu khối lượng di động

Thí nghiệm với các thông số tải trọng như trường hợp mục 4.4.1. Thay vì liên kết ngàm cứng 4 cạnh, tác giả tạo liên kết gối đàn hồi bằng cách bố trí 16 lò xo đàn hồi như đã nêu trên 4 cạnh của tấm (khoảng cách giữa các lò xo đều nhau).



**Hình 4.9.** Tiến hành thí nghiệm trên tấm với tấm liên kết đàn hồi

Mỗi chỉ tiêu thí nghiệm cũng được thực hiện 15 lần trên mỗi loại tấm. Hình 4.10 là đáp ứng chuyển vị - thời gian của điểm đo cho hai phương pháp: lý thuyết và thực nghiệm. Bảng 4.2 tóm tắt kết quả giá trị chuyển vị lớn nhất và sai số giữa hai phương pháp trên.



**Hình 4.10.** Đáp ứng chuyển vị - thời gian tại điểm khảo sát ( $h = 2\text{mm}$ )

**Bảng 4.2.** Giá trị chuyển vị lớn nhất của tấm (Trường hợp liên kết đàn hồi)

Chiều dày tấm $t[\text{m}]$		0,002	0,003	0,0045
Đại lượng		Chuyển vị lớn nhất $W_{max}[\text{m}]$		
Phương pháp	<i>PLATE MOVING 2012</i>	$2,07 \cdot 10^{-3}$	$0,63 \cdot 10^{-3}$	$0,20 \cdot 10^{-3}$
	<i>Thực nghiệm</i>	$2,01 \cdot 10^{-3}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$	$0,19 \cdot 10^{-3}$
<i>Sai số [%]</i>		2,98	3,28	5,26

**Nhận xét:** Trong trường hợp này, cũng tương tự như trường hợp tấm bị ngàm bốn cạnh, đáp ứng chuyển vị - thời gian của hai phương pháp (lý thuyết và thực nghiệm) là khá đồng dạng, sai số của các giá trị lớn nhất về chuyển vị ứng với hai phương pháp cho ba kích thước chiều dày tấm đều nhỏ hơn 5,3%, theo tác giả giá trị sai số này là chấp nhận được.

#### **4.6. Kết luận chương 4**

- Với nội dung thí nghiệm trình bày đã góp phần nâng cao khả năng tổ chức thực hiện trong lĩnh vực thí nghiệm cơ học cho tác giả luận án.

- Kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết bằng chương trình tính PLATE\_MOVING\_2012 trên mô hình tương tự là khá đồng dạng về quy luật, sai số trong phạm vi chấp nhận được, điều này cho thấy chương trình tính PLATE\_MOVING\_2012 đã lập ở chương 2 đủ tin cậy.

### **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

#### **1/ Những đóng góp mới của luận án:**

1, Xây dựng các ma trận bổ sung, các phương trình mô tả dao động của tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự), trong đó đã xét đến biến dạng của tấm – bài toán tương tác. Nội dung được công bố trong các công trình [1], [3], [4], [6] của tác giả.

2, Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình PLATE\_MOVING\_2012 phân tích động lực học tấm chịu tác dụng của khối lượng di động và hệ dao động di động với 3 loại liên kết khác nhau: liên kết cứng tuyệt đối trên chu vi tấm, liên kết đàn hồi tuyến tính trên chu vi tấm và liên kết đàn hồi tuyến tính trên diện tích tấm. Chương trình tính đã được kiểm chứng và cho thấy đảm bảo tin cậy. Nội dung được công bố trong các công trình [1], [2], [4], [5], [6] của tác giả.

3, Khảo sát số trên nhiều bài toán với các thông số kết cấu, tải trọng thay đổi, đưa ra các nhận xét, đánh giá có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong lĩnh vực kỹ thuật, đặc biệt là lĩnh vực giao thông vận tải. Nội dung được công bố trong các công trình [5], [6] của tác giả.

4, Có được các số liệu thực nghiệm thể hiện đặc trưng dao động của tấm bằng vật liệu thép chịu tác dụng của tải trọng di động dạng khối lượng. Kết quả thực nghiệm đã góp phần kiểm tra và khẳng định độ tin

cây của thuật toán và chương trình PLATE\_MOVING\_2012 do tác giả đã lập. Nội dung được công bố trong công trình [7] của tác giả.

## **2/ Nhận xét và kiến nghị:**

1, Tính toán tải trọng di động dạng khối lượng di động (mô phỏng xe bánh xích) và hệ dao động di động (mô phỏng xe bánh lốp 4 bậc tự) với các điều kiện biên khác nhau là vấn đề phức tạp, nhưng đến nay đã làm chủ được phương pháp và chương trình tính. Đây là điều kiện tốt cho các nghiên cứu tiếp theo đối với các kết cấu phục vụ ngành giao thông vận tải, như: tính toán cầu dây văng khẩu độ nhỏ, cầu trên không, tính toán đường bộ, đường băng, tấm vệt chống lầy, v.v.

2, Ảnh hưởng của việc thay đổi vận tốc phương tiện di chuyển đến phản ứng động của tấm là lớn: khi tăng, giảm tốc độ, độ võng của tấm tăng một cách phi tuyến, đến một mức độ nào đó có thể gây ra mất ổn định cho tấm. Vì vậy, trong khai thác, sử dụng cần hạn chế tối đa sự thay đổi tốc độ (đặc biệt là sự thay đổi đột ngột về tốc độ) của tải trọng di chuyển trên tấm.

3, Chiều dày tấm ảnh hưởng đáng kể và đặc biệt nhạy cảm với tải trọng di động. Khi chiều dày giảm, tấm có thể bị mất ổn định do chuyển vị tăng đột biến.

4, Tốc độ của tải trọng di động trên tấm cũng là một trong những yếu tố ảnh hưởng lớn đến phản ứng động của tấm. Khi tăng tốc độ tải trọng, chuyển vị của tấm tăng phi tuyến, với một tốc độ của tải trọng đạt đến giá trị nào đó cũng có thể gây mất ổn định đối với tấm.

5, Qua phân tích tác động của hai loại mô hình tải trọng như đã xét trong luận án, có thể thấy rằng: nếu cùng một khối lượng, cùng tốc độ di chuyển, xe bánh lốp có khả năng gây nguy hiểm cho tấm lớn hơn xe bánh xích. Điều này cần lưu ý trong khai thác, sử dụng.

6, Nội dung nghiên cứu của luận án có thể phát triển theo các hướng sau:

- Phân tích động lực hệ liên hợp tấm – dây – cột chịu tác dụng đồng thời của tải trọng di động (đoàn tải trọng di động) và lực khí động.
- Nghiên cứu tương tác xe – mặt đường – nền đường, trong đó xét cả quá trình di chuyển của tải trọng và độ biến dạng của mặt đường và nền.
- Nghiên cứu, tính toán hệ cầu nổi chịu tác dụng của tải trọng di động theo mô hình không gian.