

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**  
-----

**LÊ TRƯỜNG SƠN**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ  
KẾT CẤU VÀ LIÊN KẾT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA  
CỤM PÍT TÔNG - XI LẠNH TRONG ĐỘNG CƠ**

Chuyên ngành: Cơ học kỹ thuật

Mã số: 62.52.02.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI – 2010**

Công trình được hoàn thành tại Học viện Kỹ thuật Quân sự

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Trần Minh, Học viện Kỹ thuật Quân sự
2. PGS.TS. Hà Quang Minh, Học viện Kỹ thuật Quân sự

Phản biện 1: GS.TSKH Nguyễn Đông Anh  
Viện Cơ Việt Nam

Phản biện 2: PGS.TS Bùi Hải Triều  
Đại học Nông nghiệp Hà Nội

Phản biện 3: GS.TS Phạm Minh Tuấn  
Đại học Bách khoa Hà Nội

L luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp  
Nhà nước họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự  
Vào hồi 8 giờ 30 ngày 4 tháng 8 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

### NHỮNG CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Hà Quang Minh, Lê Trường Sơn**, 2005, “*Khảo sát ảnh hưởng của khe hở giữa pít tông- xi lanh và chế độ tốc độ đến cường độ rung động của ống lót xi lanh động cơ đốt trong bằng công cụ Matlab.*”. Tạp chí KH&KT- Học viện KTQS, số 110, trang 48-55.
2. **Lê Trường Sơn, Trần Minh, Hà Quang Minh**, 2007, “*Mô hình cơ học nghiên cứu động lực học chuyển động thứ yếu của pít tông động cơ đốt trong*”. Tạp chí nghiên cứu KHKT&CNQS - Trung tâm KHKT&CNQS, số 19, trang 28-34.
3. **Lê Trường Sơn**, 2008, “*Thiết lập phương trình vi phân mô tả tương tác giữa thân pít tông với phần tử của vỏ xi lanh ĐCĐT*”. Tạp chí KH&KT- Học viện KTQS, số 123, trang 76-82.
4. **Lê Trường Sơn**, 2008, “*Tương tác giữa thân pít tông với phần tử của vỏ xi lanh động cơ đốt trong*”. Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ- lần 3- Học viện KTQS, trang 14-21.
5. **Lê Trường Sơn**, 2009, “*Giải bài toán tương tác giữa thân pít tông và thành xi lanh trong động cơ*”. Tạp chí KH&KT- Học viện KTQS, số 127, trang 27-35.
6. **Lê Trường Sơn**, 2009, “*Tương tác phi tuyến giữa thân pít tông và thành xi lanh động cơ đốt trong*”. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học toàn quốc kỷ niệm 30 năm Viện Cơ học Việt Nam và 30 năm Tạp chí Cơ học, trang 66- 74.
7. **Lê Trường Sơn, Trần Minh, Hà Quang Minh**, 2009, “*Nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở đến sự tương tác của cụm pít tông- xi lanh trong động cơ*”. Tạp chí KH&KT- Học viện KTQS, số 129, trang 42- 49.

## MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết của đề tài

Ngày nay, do sự phát triển của động cơ cao tốc, công suất trên một đơn vị thể tích công tác của xi lanh lớn và trọng lượng nhẹ, thì việc nghiên cứu dao động ngang của cụm *pít tông - xi lanh* (PT-XL) và các tác hại gây ra trong thực tế khai thác sử dụng động cơ đòi hỏi cần phải mở rộng nghiên cứu.

Một trong số các vấn đề được chú ý nhiều trong những năm gần đây là nghiên cứu bài toán dao động ngang của cụm PT-XL có xét đến khe hở và màng dầu bôi trơn giữa chúng và sử dụng các phương pháp số mô tả kết cấu cụm PT-XL trong động cơ. Đề tài nghiên cứu của tác giả đặt ra nhằm giải quyết một phần theo hướng nghiên cứu này và đã chọn đề tài: **“Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số kết cấu và liên kết đến sự tương tác của cụm pít tông - xi lanh trong động cơ”**.

### Mục đích nghiên cứu

Mô hình hoá kết cấu xi lanh bằng *phương pháp phần tử hữu hạn* (PPPTH). Pít tông chuyển động trong xi lanh có xét đến yếu tố tương tác (do kể đến biến dạng xi lanh) và phi tuyến (do kể đến khe hở giữa PT-XL). Nghiên cứu triển khai thuật toán chi tiết và chương trình máy tính giải bài toán dao động ngang của cụm PT-XL, đánh giá định lượng một vài thông số kết cấu của pít tông, xi lanh và liên kết giữa chúng đến lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh theo phương ngang.

### Đối tượng nghiên cứu

Cụm PT-XL của động cơ diesel, 4 kỳ, tốc độ cao và trung bình, làm mát bằng nước. Đây là cụm chi tiết cơ bản và quan trọng trong động cơ, nó cùng với thanh truyền, khuỷu trục hình thành hệ cơ học có động học rất phức tạp trong *động cơ đốt trong* (ĐCĐT).

### Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng phương pháp số thiết lập phương trình, thuật toán, chương trình máy tính nghiên cứu dao động ngang cụm PT-XL.

### Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Đã thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả tương tác giữa thân pít tông với một phần tử thuộc kết cấu xi lanh trực tiếp tiếp xúc và tương tác với pít tông, trong đó có các ma trận và véc tơ tải trọng nút chứa các thành phần lực tương tác phi tuyến có điểm đặt thay đổi, phụ thuộc hành trình chuyển động pít tông theo phương thẳng đứng.

Thiết lập được thuật toán chi tiết bằng phương pháp số để giải bài toán tương tác cụm PT-XL trong động cơ. Tích phân số được thực hiện theo phương pháp Newmark.

Xây dựng được chương trình máy tính bằng ngôn ngữ Matlab thực hiện thuật toán đã thiết lập, cho phép xác định được chuyển động của pít tông, biến dạng của xi lanh và lực tương tác giữa chúng, theo thời gian.

Các tính toán số với mô hình cụ thể là cụm PT-XL động cơ D6, rút ra nhận xét, đánh giá ảnh hưởng đối với 2 thông số ra cần quan tâm là: *lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh*, nó phụ thuộc vào mô hình tính và nhiều thông số khác nhau. Kết quả nhận được là giá trị và các khoảng giá trị thông số kết cấu, liên kết của cụm PT-XL. Các thông số đó đều trong các miền giá trị được khuyến cáo khi thiết kế pít tông, xi lanh nói chung và động cơ D6 nói riêng. Điều đó chứng tỏ mô hình được xây dựng trong luận án là có ý nghĩa khoa học, thực tiễn và đáng tin cậy.

### 5. Bố cục của luận án

Luận án gồm có: mở đầu, 4 chương, kết luận, 51 tài liệu tham khảo và 7 tài liệu do tác giả công bố có liên quan đến luận án.

#### Chương 1

### TỔNG QUAN VỀ CÁC MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU CHUYỂN ĐỘNG CỦA PÍT TÔNG TRONG XI LANH ĐỘNG CƠ VÀ SỰ TƯƠNG TÁC GIỮA CHÚNG

Trong chương này, trình bày những mô hình và phương pháp tính liên quan đến chuyển động phụ của pít tông trong xi lanh động cơ và sự tương tác giữa chúng, của các tác giả trong và ngoài nước. Từ đó, xác định mục tiêu nghiên cứu của luận án.

#### 1.1 Chuyển động thực của pít tông trong xi lanh động cơ

Phần này, tổng hợp và trình bày từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về các dạng chuyển động của pít tông trong xi lanh (trong khe hở và trong các kỳ làm việc) động cơ.

#### 1.2 Các tác hại gây ra do chuyển động phụ của pít tông trong thực tế khai thác sử dụng

Tổng hợp các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đo, ghi rung ồn cơ khí do va đập pít tông cùng các tác động có hại khác trong thực tế khai thác sử dụng động cơ của một số tác giả nước ngoài.

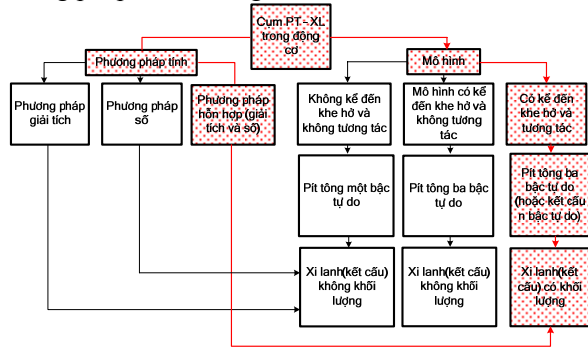
#### 1.3 Các yêu cầu đặt ra đối với cụm PT - XL

Trình bày các yêu cầu chính đặt ra đối với cụm PT-XL. Các hướng mà các tác giả trong và ngoài nước tập trung nghiên cứu hoàn thiện cụm này nhằm giảm thiểu va đập pít tông và các tác động có hại khác.

#### 1.4 Một số kết quả nghiên cứu trên thế giới

Dựa trên các nghiên cứu của các tác giả nước ngoài đã công bố, tác giả tổng hợp về các mô hình và phương pháp tính và tạm phân loại theo ba mô hình: *không kể đến khe hở và tương tác; có kể đến khe hở và*

không tương tác; có kể đến khe hở và tương tác. Sơ đồ phân loại mô hình và phương pháp tính được giới thiệu trên Hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ phân loại mô hình và phương pháp tính

**1.5 Một số kết quả nghiên cứu trong nước**

Dao động của máy và cơ cấu máy đã được quan tâm nghiên cứu nhiều. Tuy nhiên, mới dừng lại ở phương pháp giải tích và các cơ cấu hệ thống đơn giản. Đối với ĐCDT nói chung và cụm PT-XL nói riêng, đến nay chưa tìm thấy một nghiên cứu sâu nào về vấn đề này.

**1.6 Đánh giá các mô hình và hướng nghiên cứu của luận án**

- Các mô hình nghiên cứu dao động ngang cụm PT-XL hầu hết được mô hình hóa bằng các hệ tương đương, chưa có lực thực sự của pít tông đặt lên thành xi lanh và dựa trên ba mô hình nêu trên (Hình 1.5).

- Thuật toán chi tiết và chương trình máy tính của các tác giả nước ngoài không được công bố chi tiết.

- Đến nay, ở Việt Nam chưa tìm thấy một nghiên cứu sâu nào về vấn đề này (cả cơ sở lý thuyết và chương trình máy tính). Do đó, mục tiêu luận án đặt ra là nghiên cứu và giải bài toán dao động ngang của cụm PT-XL.

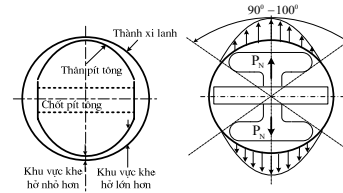
**1.7 Kết luận chương 1**

- Việc nghiên cứu chuyển động phụ của pít tông trong xi lanh và sự tương tác giữa chúng là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.
- Các nghiên cứu về vấn đề này nhìn chung (nhất là ở Việt Nam) còn ít và mang tính chất công bố nên khó tiếp cận.
- Việc xây dựng mô hình tổng quát, thuật toán và chương trình máy tính nghiên cứu vấn đề này là cấp thiết.

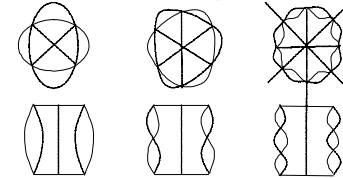
**Chương 2**  
**MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA PÍT TÔNG TRONG XI LANH VÀ TƯƠNG TÁC GIỮA THÂN PÍT TÔNG VỚI THÀNH XI LANH**

**2.1. Giới thiệu chung**

**2.2. Tương tác giữa thân pít tông và thành xi lanh**



Hình 2.2. Tương tác giữa thân pít tông với thành xi lanh



Hình 2.3. Dao động của xi lanh do tương tác với pít tông

**2.3. Các chuyển động của pít tông trong xi lanh, mô hình cơ học cụm PT-XL và phát triển mô hình tính toán tương tác giữa thân pít tông với thành xi lanh**

**2.3.1. Các chuyển động của pít tông trong xi lanh động cơ**

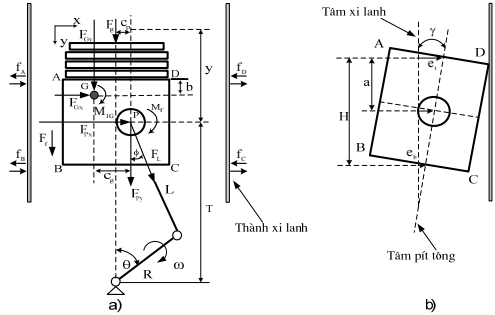
- Chuyển động của tâm chốt pít tông theo phương y

$$Y = \sqrt{(L + R)^2 - c_p^2} - [R \cos \theta + L \sqrt{1 - \lambda^2 (\sin \theta - k_t)^2}] \quad (2.4)$$

$$\dot{Y} = R \omega \frac{\sin(\theta + \phi)}{\cos \phi} \quad (2.5)$$

$$\ddot{Y} = R \omega^2 \left[ \frac{\cos(\theta + \phi)}{\cos \phi} + \lambda \frac{\cos^2 \theta}{\cos^3 \phi} \right] \quad (2.6)$$

- Chuyển động của pít tông trong khe hở giữa PT- XL

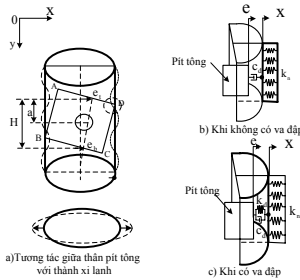


Hình 2.6. Lực, mô men tác dụng lên pit tông

$$\begin{bmatrix} m_p(1-\frac{b}{H})+m_c(1-\frac{a}{H}) & m_p\frac{b}{H}+m_c\frac{a}{H} \\ \frac{I_p}{H}+m_p(a-b)(1-\frac{b}{H}) & -\frac{I_p}{H}+m_p(a-b)\frac{b}{H} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{e}_t \\ \ddot{e}_b \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_N + \sum F_s \delta_s + F_t \operatorname{tg} \phi \\ M_N + \sum F_s y_s \delta_s + M_f \end{Bmatrix} \quad (2.25)$$

**2.3.2 Mô hình cơ học cụm PT-XL và phát triển mô hình tính toán tương tác giữa thân pit tông và thành xi lanh**

2.3.2.1 Mô hình bài toán và các giả thiết điều kiện



Hình 2.7. Mô hình bài toán

2.3.2.2 Phát triển mô hình tính toán

- Bổ sung lực tương tác  $F_{IN}$  vào (2.25), ta được :

$$\begin{bmatrix} m_p(1-\frac{b}{H})+m_c(1-\frac{a}{H}) & m_p\frac{b}{H}+m_c\frac{a}{H} \\ \frac{I_p}{H}+m_p(a-b)(1-\frac{b}{H}) & -\frac{I_p}{H}+m_p(a-b)\frac{b}{H} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{e}_t \\ \ddot{e}_b \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_N + \sum F_s \delta_s + F_t \operatorname{tg} \phi + F_{IN} \\ M_N + \sum F_s y_s \delta_s + M_f \end{Bmatrix} \quad (2.26)$$

- Nếu điểm tiếp xúc là điểm D trên thân pit tông với thành xi lanh :

$$F_{IN} = F_{dh} + F_c = -\delta_s [k_d(e_t - x_D)] - c_d(\dot{e}_t - \dot{x}_D). \quad (2.27)$$

$$x_D = [N(\xi, \eta(t))] \{q^e\}, \quad \dot{x}_D = [N(\xi, \eta(t))] \{\dot{q}^e\}. \quad (2.29)$$

- Thay (2.29) vào (2.27) được :

$$F_{IN} = -\delta_s [k_d(e_t - [N(\xi, \eta(t))] \{q^e\})] - c_d(\dot{e}_t - [N(\xi, \eta(t))] \{\dot{q}^e\}). \quad (2.30)$$

**2.4. Phương trình tương tác giữa thân PT và thành XL**

Từ phương trình(2.25), ký hiệu :

$$[m_{pt}] = \begin{bmatrix} m_p(1-\frac{b}{H})+m_c(1-\frac{a}{H}) & m_p\frac{b}{H}+m_c\frac{a}{H} \\ \frac{I_p}{H}+m_p(a-b)(1-\frac{b}{H}) & -\frac{I_p}{H}+m_p(a-b)\frac{b}{H} \end{bmatrix}, \quad (2.31)$$

$$\{F_0\} = \begin{Bmatrix} F_N + \sum F_s \delta_s + F_t \operatorname{tg} \phi \\ M_N + \sum F_s y_s \delta_s + M_f \end{Bmatrix}, \quad (2.32)$$

$$[m_1] = \begin{bmatrix} m_p(1-\frac{b}{H})+m_c(1-\frac{a}{H}) & m_p\frac{b}{H}+m_c\frac{a}{H} \end{bmatrix}, \quad (2.33)$$

$$\{\ddot{e}\} = \{\ddot{e}_t \quad \ddot{e}_b\}^T, \quad (2.34)$$

$$f_t = F_N + \sum F_s \delta_s + F_t \operatorname{tg} \phi. \quad (2.35)$$

Từ phương trình (2.26), lực tương tác  $F_{IN}$  được tính như sau:

$$F_{IN} = [m_1] \{\ddot{e}\} - f_t. \quad (2.36)$$

Lực tương tác (2.36) là lực tập trung tại vị trí  $(\xi, \eta(t))$  được mô tả bởi lực phân bố  $p(x, y, t)$  có dạng:

$$p(x, y, t) = F_{IN}(t) \cdot \delta(x - \xi, y - \eta). \quad (2.37)$$

trong đó,  $\delta(\cdot)$  là hàm Delta-Dirac với các tính chất sau:

$$\delta(x - \xi, y - \eta) = 0, \quad \text{khi } x \neq \xi, y \neq \eta. \quad (2.38)$$

$$\delta(x - \xi, y - \eta) = \infty, \quad \text{khi } x = \xi, y = \eta. \quad (2.39)$$

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_{\xi-\epsilon}^{\xi+\epsilon} \int_{\eta-\epsilon}^{\eta+\epsilon} \delta(x - \xi, y - \eta) dx dy = 1, \quad (2.40)$$

$$\int_0^a \int_0^b f(x, y) \delta(x - \xi, y - \eta) dx dy = f(\xi, \eta), \quad 0 < \xi < a; 0 < \eta < b. \quad (2.41)$$

Theo PP PTHH, véctơ lực nút phần tử được xác định như sau:

$$\{F^e\} = \int_0^a \int_0^b [N(x, y)]^T p(x, y, t) dx dy = \quad (2.42)$$

$$= \int_0^a \int_0^b [N(x, y)]^T F_{IN}(t) \cdot \delta(x - \xi, y - \eta) dx dy.$$

Theo tính chất hàm Delta-Dirac (2.41), thì (2.42) trở thành :

$$\{F^e\} = [N(\xi, \eta(t))]^T F_{IN}(t). \quad (2.43)$$

Thay (2.36) vào (2.42) ta có :

$$\begin{aligned} \{F^e\} &= [N(\xi, \eta(t))]^T ([m_1]\{\ddot{e}\} - f_1) = \\ &= [N(\xi, \eta(t))]^T [m_1]\{\ddot{e}\} - [N(\xi, \eta(t))]^T .f_1. \end{aligned} \quad (2.44)$$

Phương trình vi phân dao động của phần tử kết cấu thành xi lanh khi chịu uốn do tác dụng của véctơ lực nút  $\{F^e\}$  có dạng :

$$[M_0^e]\{\ddot{q}^e\} + [C_0^e]\{\dot{q}^e\} + [K_0^e]\{q^e\} = \{F^e\}. \quad (2.45)$$

Từ phương trình dao động của pít tông (2.25), với  $F_{IN}$  xác định theo (2.30) và phương trình dao động uốn của phần tử kết cấu xi lanh xác định theo (2.45) với véctơ lực nút (2.44), ta có:

$$\begin{aligned} [M_0^e]\{\ddot{q}^e\} + [C_0^e]\{\dot{q}^e\} + [K_0^e]\{q^e\} = \\ = [N(\xi, \eta(t))]^T [m_1]\{\ddot{e}\} - [N(\xi, \eta(t))]^T .f_1. \end{aligned} \quad (2.46)$$

$$\text{Ký hiệu: } \{\Delta\} = \left\{ \begin{matrix} \{e\} \\ \{q^e\} \end{matrix} \right\}^T. \quad (2.49)$$

Phương trình dao động của pít tông với một PTHH xi lanh là:

$$\begin{aligned} \left[ \begin{array}{cc|cc} [m_{pt}] & 0 & \left\{ \begin{matrix} \{\ddot{e}\} \\ \{\dot{q}^e\} \end{matrix} \right\} & + \left[ \begin{array}{cc|c} [c_d & 0 & -c_d [N(\xi, \eta(t))] \\ 0 & 0 & [c_0^e] \end{array} \right] \left\{ \begin{matrix} \{\dot{e}\} \\ \{\dot{q}^e\} \end{matrix} \right\} + \\ \left[ \begin{array}{cc|c} [\delta_s k_d & 0 & -\delta_s [N(\xi, \eta(t))] \\ 0 & 0 & [k_0^e] \end{array} \right] \left\{ \begin{matrix} \{e\} \\ \{q^e\} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \{F_0\} \\ -[N(\xi, \eta(t))]^T f_1 \end{matrix} \right\}. \end{array} \right. \quad (2.50)$$

Từ phương trình (2.50), ta thấy:

- Các ma trận không liên quan đến tương tác với pít tông:

$$[M_0^e] = \begin{bmatrix} [0] & [0] \\ [0] & [M_0^e] \end{bmatrix}, \quad [K_0^e] = \begin{bmatrix} [0] & [0] \\ 0 & [K_0^e] \end{bmatrix}, \quad [C_0^e] = \begin{bmatrix} [0] & [0] \\ 0 & [C_0^e] \end{bmatrix}. \quad (2.51)$$

- Véctơ tải trọng nút không liên quan đến tương tác:

$$\{F_0^e\} = \{0 \quad 0\}^T. \quad (2.52)$$

- Các ma trận liên quan đến tương tác:

$$[M_p^e] = \begin{bmatrix} [m_{pt}] & [0] \\ -[N(\xi, \eta(t))]^T [m_1] & [0] \end{bmatrix}, \quad (2.53)$$

$$[C_p^e] = \begin{bmatrix} [c_d & 0] & -c_d [N(\xi, \eta(t))] \\ 0 & 0 & [0] \end{bmatrix}, \quad (2.54)$$

$$[K_p^e] = \begin{bmatrix} [\delta_s k_d & 0] & -\delta_s [N(\xi, \eta(t))] \\ 0 & 0 & [0] \end{bmatrix}. \quad (2.55)$$

- Véctơ tải trọng nút liên quan đến tương tác:

$$\{F_{tt}^e\} = \left\{ \begin{matrix} \{F_0\} \\ -[N(\xi, \eta(t))]^T f_1 \end{matrix} \right\}^T. \quad (2.56)$$

## 2.5. Phần tử kết cấu xi lanh tổng quát và ma trận nền đàn hồi của áo nước làm mát bao quanh xi lanh

Để làm cơ sở xây dựng phương trình mô tả dao động theo phương ngang của cụm PT-XL. Phần này, giới thiệu các ma trận phần tử kết cấu xi lanh (phần tử vỏ) tổng quát và các ma trận chuyển tọa độ từ tọa độ phần tử sang toàn hệ. Ngoài ra, trình bày về các ma trận trên nền đàn hồi mô tả áo nước bao quanh xi lanh.

## 2.6. Kết luận chương 2

- Từ mô hình có kể đến khe hở và không tương tác của các tác giả đã công bố (năm 2002, 2004, 2005) và nghiên cứu thực nghiệm đo rung-ồn, sự phá hủy xâm thực các chi tiết chịu rung động trong động cơ, tác giả đã xây dựng mô hình cơ học tổng quát và phát triển mô hình tính toán dao động ngang cụm PT-XL, có xét đến các yếu tố tương tác và phi tuyến. Lực tương tác giữa chúng thông qua môi trường trung gian là màng dầu. Thân pít tông là một vật chuyển động song phẳng trong mặt phẳng lắc của thanh truyền, trong đó quy luật chuyển động của tâm chốt pít tông theo phương thẳng đứng giả thiết đã được xác định. Xi lanh coi là vỏ trụ mỏng kết cấu đàn hồi tuyến tính, được rời rạc hóa bằng PP PTHH, với nền đàn hồi mô tả áo nước làm mát, chịu tác dụng của lực tương tác có điểm đặt di động theo hành trình của pít tông theo phương thẳng đứng. Các thông số cần tìm là chuyển dịch ngang của các điểm D, C ( $e_1, e_b$ ) trên thân pít tông và thành xi lanh.

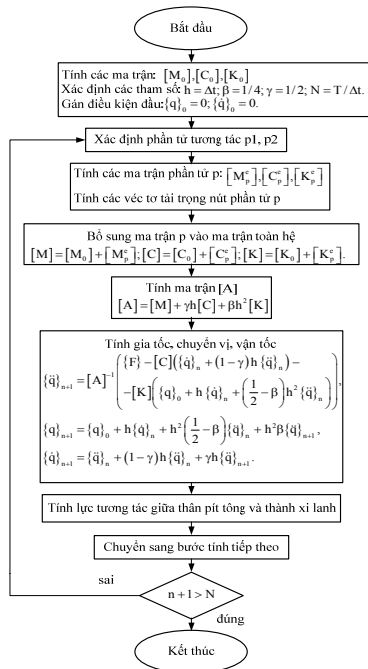
- Để làm cơ sở thiết lập phương trình dao động của cụm PT-XL, đã thiết lập hệ phương trình mô tả tương tác giữa thân pít tông với một

phần tử thuộc kết cấu xi lanh trực tiếp tiếp xúc và tương tác với pít tông, thể hiện trong phương trình (2.50), trong đó có các ma trận và véc tơ tải trọng nút (2.53), (2.54), (2.55), (2.56), chứa các thành phần lực tương tác phi tuyến có điểm đặt thay đổi. Đây là kết quả mới, làm cơ sở để xây dựng thuật toán và chương trình máy tính trong chương tiếp theo.

### Chương 3 THUẬT TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH GIẢI BÀI TOÁN TƯƠNG TÁC GIỮA THÂN PÍT TÔNG VỚI THÀNH XI LANH

#### 3.1. Thuật toán của chương trình

Hình 3.1, giới thiệu sơ đồ thuật toán bằng phương pháp Newmark tích phân phương trình vi phân mô tả tương tác giữa thân pít tông và thành xi lanh.



Hình 3.1. Sơ đồ thuật toán

#### 3.2 Chương trình máy tính

Giải các bài toán dựa trên ba trường hợp  
Trường hợp 1: Mô hình không kể đến khe hở và không tương tác;

Trường hợp 2: Mô hình có kể đến khe hở và không tương tác;  
Trường hợp 3: Mô hình có kể đến khe hở và tương tác.

#### 3.3 Một số hàm của chương trình

Giới thiệu một số hàm sử dụng trong chương trình gồm:

##### 3.3.1 Hàm vật liệu

##### 3.3.2 Hàm tính ma trận phần tử

##### 3.3.3 Các hàm tập hợp ma trận toàn hệ

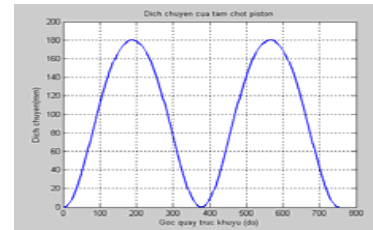
##### 3.3.4 Hàm ghép véc tơ tải phần tử

#### 3.4 Ví dụ tính toán số

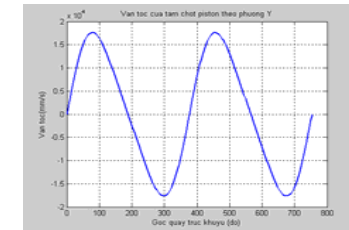
Với thuật toán, chương trình máy tính đã lập. Ví dụ tính áp dụng tính cho cụm PT-XL động cơ D6.

##### 3.4.1 Các thông số vào

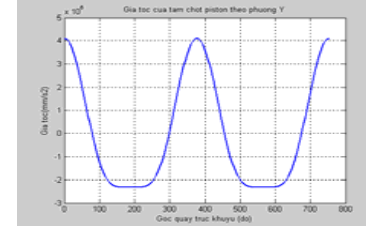
Gồm: các thông số kết cấu pít tông, xi lanh và liên kết giữa chúng cùng với quy luật chuyển động của pít tông theo phương y. Hình 3.6; 3.7; 3.8; 3.9; 3.10; 3.11; 3.12; 3.13; giới thiệu quy luật động học, động lực học của pít tông theo phương y và kết cấu xi lanh được rời rạc bằng PP PTHH.



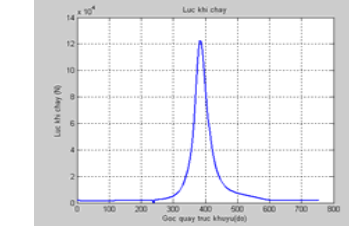
Hình 3.6: Chuyển vị của tâm chốt pít tông theo phương y.



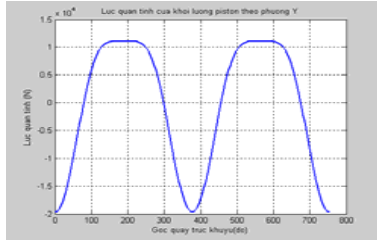
Hình 3.7: Vận tốc của tâm chốt pít tông theo phương y.



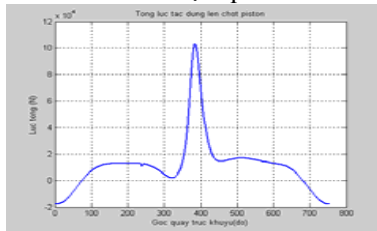
Hình 3.8: Gia tốc của tâm chốt pít tông theo phương y.



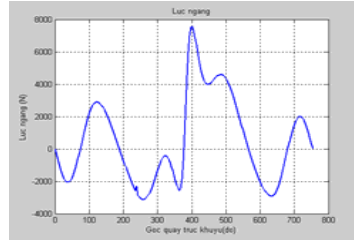
Hình 3.9: Lực khí cháy tác dụng lên đỉnh pít tông



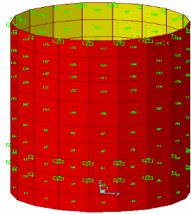
Hình 3.10. Lực quán tính



Hình 3.12 Lực tổng

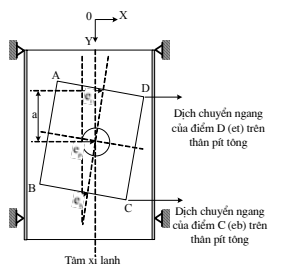


Hình 3.11. Lực ngang

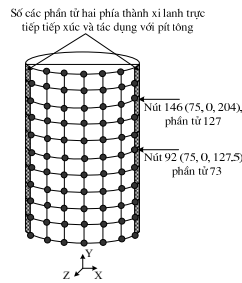


Hình 3.13. Xi lanh mô tả bằng SAP2000 version 9.03

3.4.2 Kết quả tính toán



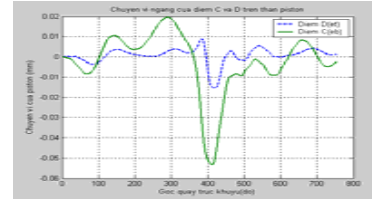
Hình 3.15. Các thông số ra của pít tông



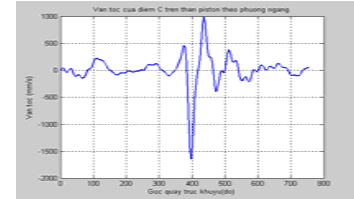
Hình 3.16. Các thông ra của xi lanh

• Đối với pít tông

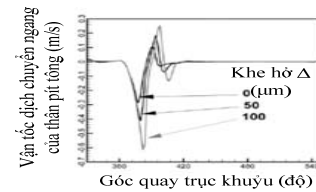
Kết quả tính toán các thông số động học, động lực học của pít tông theo phương ngang giới thiệu trên các Hình 3.17; 3.18; 3.19; 3.20; 3.21; 3.22; 3.23; 3.24.



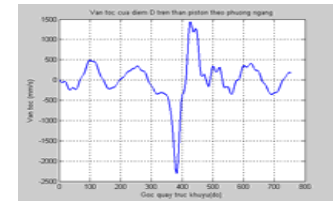
Hình 3.17. Chuyển vị ngang của pít tông



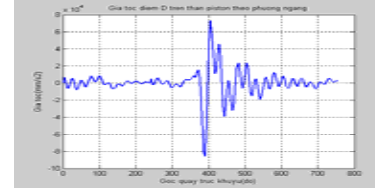
Hình 3.18. Vận tốc của điểm C



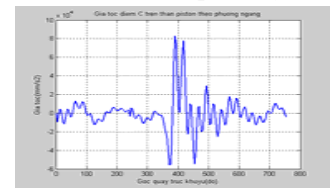
Hình 3.19. Vận tốc chuyển động ngang của pít tông của Mansouri



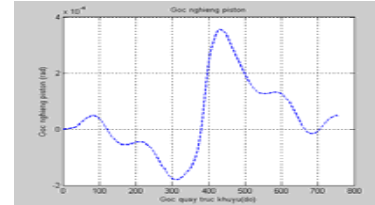
Hình 3.20. Vận tốc của điểm D trên thân pít tông



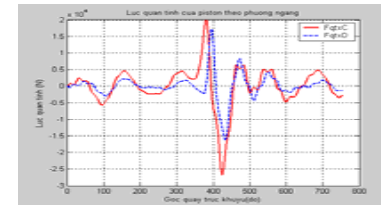
Hình 3.21. Gia tốc của điểm D



Hình 3.22. Gia tốc của điểm C



Hình 3.23. Góc nghiêng của pít tông



Hình 3.24. Lực quán tính của nhóm pít tông theo phương ngang

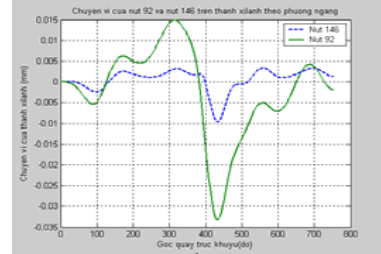
*Nhận xét và đánh giá:* Chuyển vị ngang của điểm C ( $e_c$ ), D ( $e_d$ ) trên pít tông, thay đổi lớn ở khu vực *điểm chết trên* (ĐCT). Đường ( $e_c$ ) chậm pha và biên độ nhỏ hơn đường ( $e_d$ ). Vận tốc điểm C, D trên thân pít tông tăng nhiều ở khu vực ĐCT làm lực tương tác tăng. Sự tăng đột biến của gia tốc pít tông ở khu vực ĐCT, làm lực quán tính theo phương ngang tăng gây va đập, rung - ồn khi động cơ làm việc. Lực quán tính khi các điểm C, D trên thân pít tông tiếp xúc với thành xi lanh, lực quán



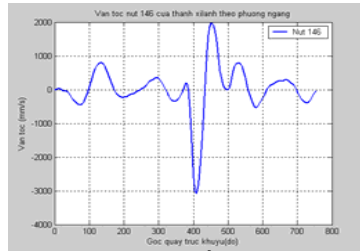
tính theo phương ngang cũng tăng đột biến ở khu vực này. Sự thay đổi góc nghiêng của pít tông trong các kỳ công tác làm ép pít tông về từng phía thành xi lanh và đổi hướng khi qua ĐCT, ĐCD (điểm chết dưới). Chuyển động nghiêng gây ra mài mòn lớn. Tại khu vực ĐCT góc nghiêng lớn và pít tông chuyển từ thành này sang thành kia gây xung va đập và tiếng “gõ” pít tông. Để đánh giá độ tin cậy của thuật toán, chương trình đã lập. Kết quả tính vận tốc pít tông (Hình 3.20), được so sánh với vận tốc của điểm tương ứng trên thân pít tông của động cơ có cùng kích thước hình học và chế độ tốc độ của Mansouri (Hình 3.19), hai kết quả có dạng phù hợp.

• **Đối với xi lanh**

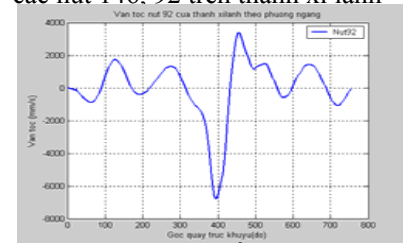
Tiếp theo, các Hình 3.25; 3.26; 3.27; 3.28; 3.29 giới thiệu kết quả tính toán các thông số động học của nút 92, 146 (mô tả trên Hình 3.15) của xi lanh và lực tương tác. Hình 3.30.



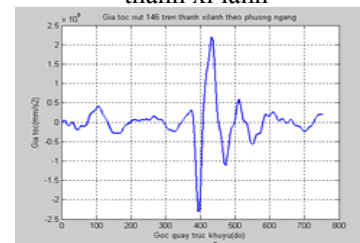
Hình 3.25 Chuyển vị ngang của các nút 146, 92 trên thành xi lanh



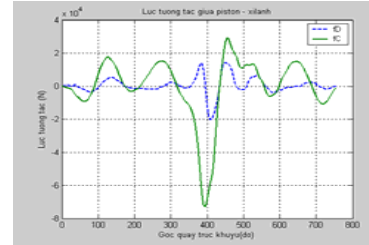
Hình 3.26. Vận tốc nút 146 của thành xi lanh



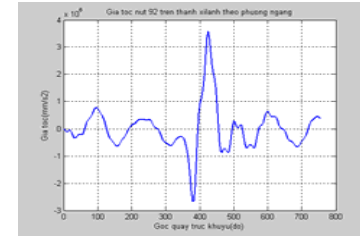
Hình 3.27. Vận tốc nút 92 của thành xi lanh



Hình 3.28. Gia tốc nút 146 của thành xi lanh



Hình 3.29. Lực tương tác giữa pít tông và thành xi lanh



Hình 3.30. Gia tốc của nút 92 của thành xi lanh

*Nhận xét:* Nút số 92 (75,0,127,5), 146 (75,0,204) được chọn để khảo sát các thông số động học và động lực học, quy luật chuyển vị nút của nút 92,146 có dạng tương tự. Tuy nhiên, nút 92 có chuyển vị lớn hơn, vì lực tương tác và va đập ở đó lớn hơn. Ngoài ra, nút 92 nằm ở khoảng giữa của hai gối tựa xi lanh trên thân máy. Vận tốc và gia tốc dao động của các nút cũng có sự thay đổi đột biến ở khu vực ĐCT. Lực tương tác tại điểm C lớn hơn tại điểm D.

**3.5. Kết luận chương 3**

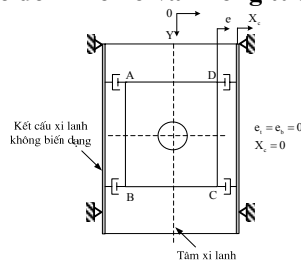
- Thiết lập được thuật toán chi tiết bằng phương pháp số, để giải bài toán tương tác cụm PT-XL. Miền thời gian khảo sát là một chu trình công tác của động cơ 4 kỳ. Tại mỗi thời điểm, đã xác định được vị trí của pít tông theo phương y, phần tử xi lanh chịu tương tác với pít tông. Các ma trận (khối lượng, cản, độ cứng) và vectơ lực nút, được xác định trong từng thời điểm, tùy theo vị trí của pít tông. Tích phân số thực hiện theo phương pháp Newmark.
- Xây dựng được chương trình máy tính bằng ngôn ngữ Matlab thực hiện thuật toán đã thiết lập, cho phép xác định được chuyển động của pít tông, biến dạng của xi lanh, lực tương tác giữa chúng, theo thời gian. Đây là kết quả mới, vừa là mục tiêu vừa là công cụ để nghiên cứu trong chương tiếp theo.
- Ví dụ số kiểm tra độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã lập tiến hành áp dụng tính với cụm PT - XL của động cơ D6, là động cơ diesel 4 kỳ, tốc độ cao, làm mát bằng nước. Kết quả tính (vận tốc chuyển động ngang của pít tông) được so sánh với kết quả trong nghiên cứu của Mansouri (2005). Hai kết quả trên tương đối phù hợp về quy luật, điều đó khẳng định độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã lập.

**Chương 4**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ KẾT CẤU VÀ LIÊN KẾT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CỤM PT-XL**

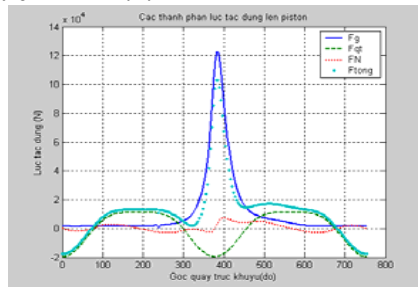
Nghiên cứu khảo sát dựa trên ba mô hình: *mô hình không kể đến khe hở và không tương tác; mô hình có kể đến khe hở và không tương tác; mô hình có kể đến khe hở và tương tác.* Trên cơ sở khảo sát cụ thể cho cụm PT- XL động cơ D6, có thể áp dụng cho các cụm PT-XL của động cơ khác nhau.

**4.1. Mô hình không kể đến khe hở và không tương tác**



Hình 4.1. Mô hình không kể đến khe hở và không tương tác

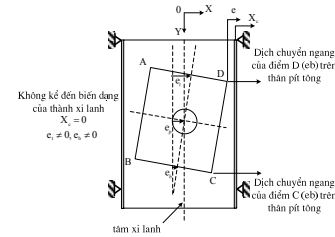
Mô hình không kể đến khe hở và không tương tác (Hình 4.1), chuyển động của pít tông trong xi lanh có một bậc tự do. Lực tương tác tại các điểm A, B, C, D trên thân pít tông đặt lên thành xi lanh  $F_{IN}(fA, fB, fC, fD) = 0$ , vì  $e_t = e_b = 0; X_c = 0$ . Các lực tác dụng lên pít tông thể hiện trên Hình 4.2.



Hình 4.2. Các lực tác dụng lên pít tông

**4.2. Mô hình có kể đến khe hở và không tương tác**

Mô hình này, pít tông chuyển động ba bậc tự do trong xi lanh. Chuyển động ngang pít tông được chọn theo 2 tọa độ suy rộng  $e_t, e_b$ . Mô hình này, không xét biến dạng của xi lanh ( $x_c = 0$ ).

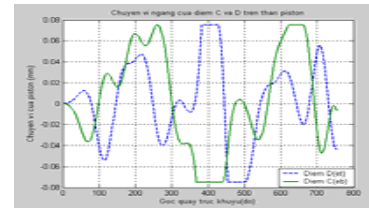


Hình 4.3. Mô hình có kể đến khe hở và không tương tác

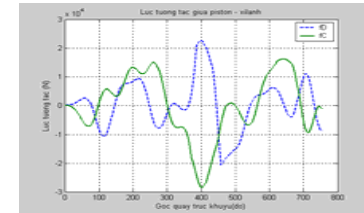
Đây là trường hợp riêng của thuật toán, chương trình máy tính khi gán giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu xi lanh đủ lớn ( $E = 10^{30} N/mm^2$ ). Mô hình này, khảo sát ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$  và độ lệch  $c_g$  của khối tâm pít tông đến lực tác dụng lên thành xi lanh và sự va đập giữa chúng.

**4.2.1. Ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$**

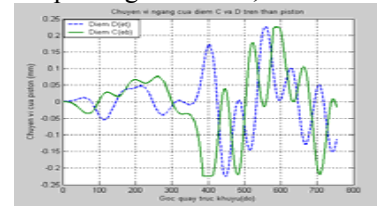
Các Hình 4.4; 4.5; 4.6; 4.7; 4.8; 4.9; 4.10 giới thiệu kết quả tính toán chuyển vị ngang của pít tông bên trong khe hở giữa PT-XL và các giá trị max, min của lực tác dụng lên thành xi lanh và thống kê số lần gây ra va đập khi khe hở  $\Delta$  thay đổi.



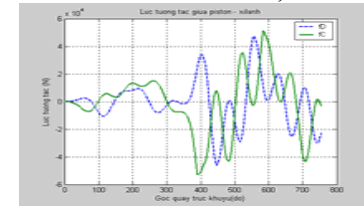
Hình 4.4. Chuyển vị ngang của pít tông với  $\Delta = 0,15$  mm



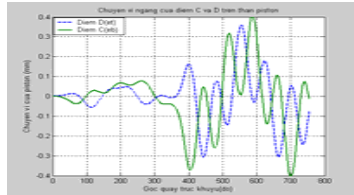
Hình 4.5. Lực tác dụng lên thành xi lanh với  $\Delta = 0,15$  mm



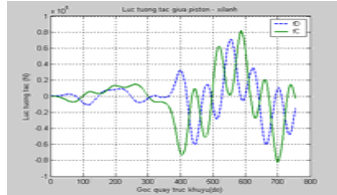
Hình 4.6. Chuyển vị ngang của pít tông với  $\Delta = 0,45$  mm



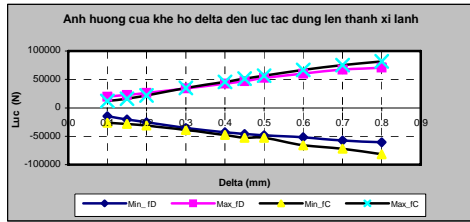
Hình 4.7. Lực tác dụng lên thành xi lanh với  $\Delta = 0,45$  mm



Hình 4.8. Chuyển vị ngang của pít tông với  $\Delta = 0,8 \text{ mm}$



Hình 4.9. Lực tác dụng lên thành xi lanh với  $\Delta = 0,8 \text{ mm}$

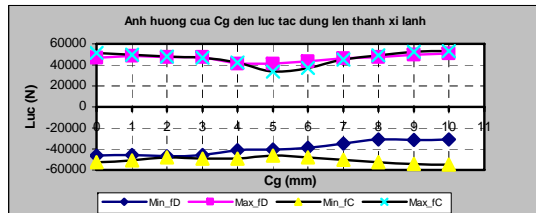


Hình 4.10. Ảnh hưởng của  $\Delta$  đến lực tác dụng lên thành xi lanh

*Nhận xét:* Khi  $\Delta = 0,1 - 0,2 \text{ mm}$ , trong khoảng này lực tác dụng lên thành xi lanh có giá trị nhỏ và tăng chậm (đi ngang). Khi  $\Delta > 0,2 \text{ mm}$  lực tác dụng lên thành xi lanh tăng nhanh hơn. Cũng từ các kết quả trên, về chuyển dịch ngang và số lần va đập của pít tông với thành xi lanh cho thấy: khi càng giảm khe hở, số lần va đập giữa PT-XL (điểm C) tăng. Do đó, vấn đề lựa chọn khe hở trong tính toán thiết kế ngoài việc đảm bảo các yêu cầu về làm kín, giảm mài mòn... thì cần quan tâm đến tần suất va đập giữa PT-XL để giảm rung động và ồn cùng các tác động có hại khác.

#### 4.2.2. Ảnh hưởng của độ lệch của khối tâm pít tông so với đường tâm pít tông $c_g$

Hình 4.11 giới thiệu kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ lệch khối tâm so với đường tâm pít tông, đến lực tác dụng lên thành xi lanh và số lần va đập pít tông với thành xi lanh.



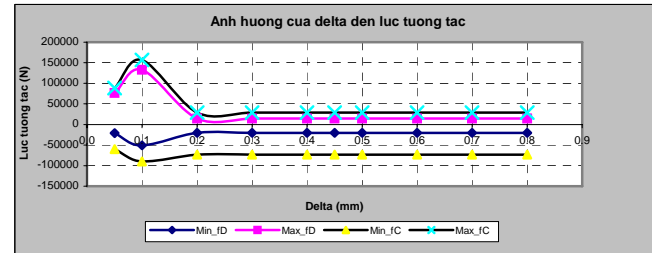
Hình 4.11. Ảnh hưởng của  $c_g$  đến lực tác dụng lên thành xi lanh

*Nhận xét:* Nhìn chung, khi tăng  $c_g$  giá trị max, min của lực tác dụng lên thành xi lanh tại C, D trên thân pít tông đều tăng. Tuy nhiên, mức độ tăng của các lực đó không nhiều. Xuất hiện khoảng giá trị  $c_g = 4 - 6 \text{ mm}$  mà ở đó lực tác dụng lên thành xi lanh nhỏ. Tồn tại giá trị  $c_g = 5 \text{ mm}$  lực tác dụng lên thành xi lanh cực tiểu. Về số lần va đập giữa PT- XL, khi tăng  $c_g$  số lần va đập cũng tăng (đặc biệt ở điểm C). Cũng tại giá trị  $c_g = 5 \text{ mm}$  số lần va đập ít nhất (tại điểm C một lần, điểm D một lần).

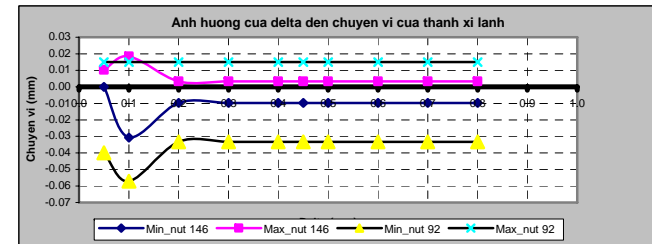
### 4.3. Mô hình có kể đến khe hở và có tương tác

#### 4.3.1 Ảnh hưởng của khe hở $\Delta$ giữa PT – XL

Các Hình 4.12; 4.13 thể hiện kết quả khảo sát ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$  đến lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh.



Hình 4.12. Ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$  đến lực tương tác



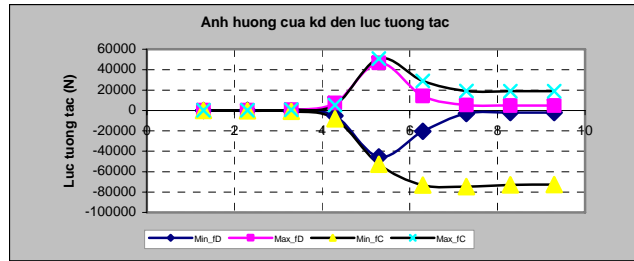
Hình 4.13. Ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$  đến chuyển vị của xi lanh

Đồ thị Hình 4.13, cho thấy: khoảng giá trị  $\Delta = 0,05 - 0,2 \text{ mm}$  lực tương tác tăng, giảm đột biến và đạt cực đại tại  $\Delta = 0,1 \text{ mm}$ . Khoảng giá trị  $\Delta = 0,2 - 0,3 \text{ mm}$  giá trị lực tương tác giảm và đạt min. Tồn tại miền giá trị khe hở  $\Delta = 0,2 - 0,3 \text{ mm}$  để lực tương tác đạt giá trị nhỏ nhất. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở  $\Delta$  đến chuyển vị của thành xi lanh cho thấy: trong khoảng giá trị  $\Delta = 0,05 - 0,2 \text{ mm}$  chuyển vị thành

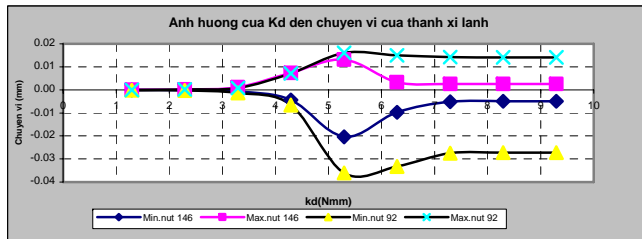
xi lanh tăng, giảm đột biến và đạt cực đại tại  $\Delta = 0,1$  mm cùng với sự tăng, giảm đột biến và đạt cực đại của lực tương tác.

**4.3.2 Ảnh hưởng của hệ số đàn hồi của màng dầu  $k_d$**

Hình 4.14; 4.15 giới thiệu kết quả khảo sát ảnh hưởng của hệ số đàn hồi  $k_d$  của màng dầu giữa PT-XL đến lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh.



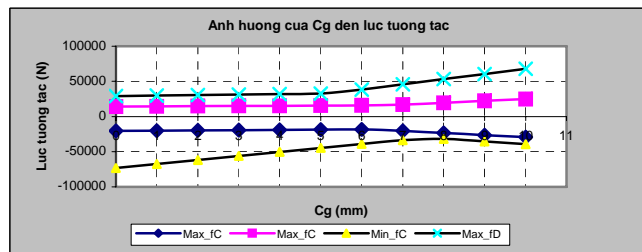
Hình 4.14. Ảnh hưởng của  $k_d$  đến lực tương tác



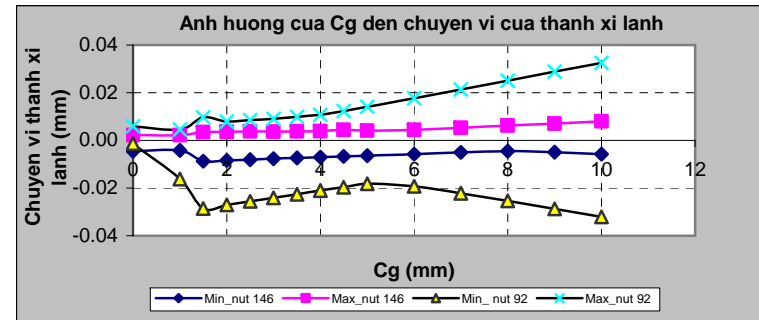
Hình 4.15. Ảnh hưởng của  $k_d$  đến chuyển vị của thành xi lanh

**4.3.3 Ảnh hưởng của độ lệch khối tâm pít tông  $c_g$**

Hình 4.16; 4.17 giới thiệu kết quả tính khảo sát về ảnh hưởng của độ lệch tâm  $c_g$  đến lực tương tác và chuyển vị của xi lanh.



Hình 4.16. Ảnh hưởng của  $c_g$  đến lực tương tác

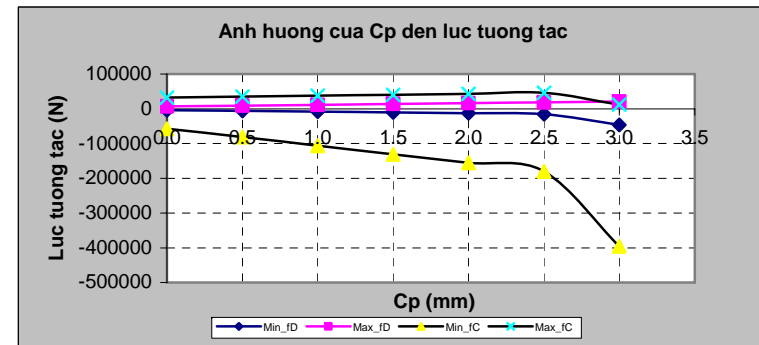


Hình 4.17. Ảnh hưởng của  $c_g$  đến chuyển vị của thành xi lanh

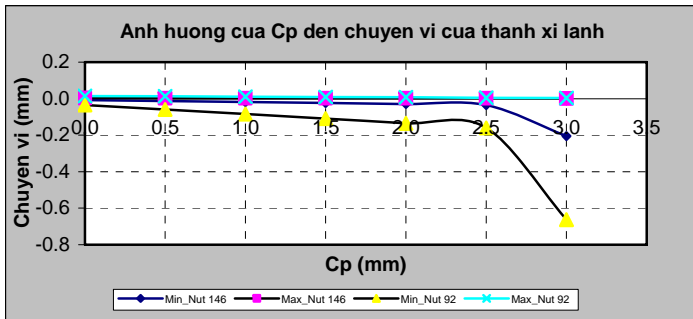
Trong khoảng  $c_g$  từ 0 - 5mm các giá trị max, min của lực tương tác tương đối ổn định (không tăng). Khi  $c_g > 5$  mm thì lực tương tác tăng nhanh. Đối với chuyển vị của thành xi lanh, giá trị  $c_g = 0$  cho lực tương tác và chuyển vị của thành xi lanh nhỏ nhất, trong khoảng  $0 < c_g \leq 1$  mm chuyển vị của thành xi lanh giảm (chuyển vị đạt min). Trong khoảng  $1 < c_g \leq 2$ mm chuyển vị tăng đột biến và có các giá trị max, min của chuyển vị, trong khoảng  $2 < c_g \leq 5$ mm nhìn chung chuyển vị giảm (trừ giá trị max nút 92 tăng). Giá trị  $c_g > 6$  mm chuyển vị tăng nhanh.

**4.3.4 Ảnh hưởng của độ lệch tâm chốt pít tông  $c_p$**

Hình 4.18; 4.19 giới thiệu kết quả khảo sát ảnh hưởng của  $c_p$  đến lực tương tác và chuyển vị của thành xi lanh.



Hình 4.18. Ảnh hưởng của  $c_p$  đến lực tương tác

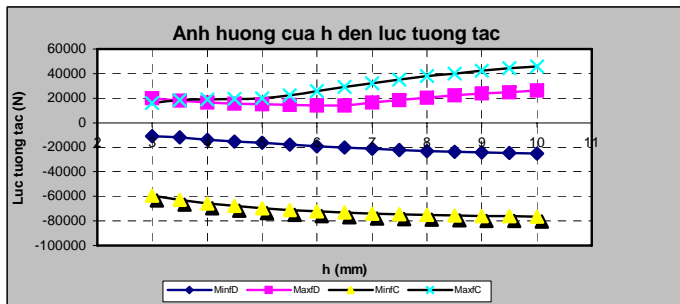


Hình 4.19. Ảnh hưởng của  $c_p$  đến chuyển vị của thành xi lanh

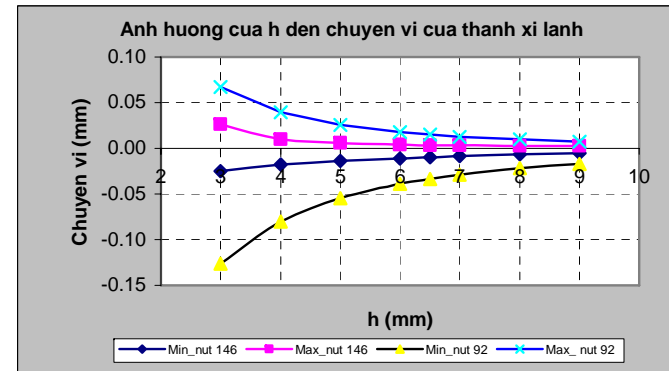
*Nhận xét:* Với  $c_p = 0$  lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh min. Tuy nhiên, trong khoảng khảo sát, tồn tại một giá trị  $c_p = 2 - 2,5$  mm ở đó các giá trị max, min của lực tương tác nhỏ. Trong thực tế, đối với động cơ diesel do áp suất của lực khí cháy ở cuối hành trình nén và hành trình cháy giãn nở lớn, nên lực ngang tác dụng lên hai phía thành xi lanh tương đối lớn, việc san đều lực ngang theo tiết diện ngang chỉ là tương đối và ít có ý nghĩa thực tiễn, nên khi thiết kế động cơ diesel thường chọn  $c_p = 0$ . Độ lệch tâm chốt pít tông thường chỉ có ý nghĩa với động cơ xăng. Tuy nhiên, việc làm lệch tâm còn ảnh hưởng đến động học và động lực học của *cơ cấu khuỷu trục thanh truyền (CCKTTT)*, nên trong thực tế ít sử dụng phương pháp này.

#### 4.3.5 Ảnh hưởng của chiều dày thành xi lanh h

Hình 4.20; 4.21 thể hiện kết quả khảo sát ảnh hưởng chiều dày thành xi lanh h đến lực tương tác và chuyển vị của thành xi lanh.



Hình 4.20. Ảnh hưởng của h đến lực tương tác



Hình 4.21. Ảnh hưởng của h đến chuyển vị của thành xi lanh

*Nhận xét:* Nhìn chung, khi tăng h lực tương tác tăng. Đối với chuyển vị của thành xi lanh khi tăng h từ 3 - 6,5 mm chuyển vị giảm nhanh, trong khoảng  $h > 6,5$  mm chuyển vị giảm ổn định.

#### 4.4. Kết luận chương 4

Các tính toán số, đối với mô hình cụ thể là cụm PT-XL động cơ D6 ở chế độ công suất định mức,  $N_e = 176,52$  kW, ứng với số vòng quay  $n = 1800$  v/ph. Nhằm rút ra những đánh giá ảnh hưởng của một số thông số kết cấu và liên kết với hai thông số ra cần quan tâm là: *Lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh.*

- Trường hợp không kể đến khe hở và không tương tác

Mô hình này, cho phép xác định được quy luật động học, động lực học của pít tông theo phương thẳng đứng, các lực và mô men tác dụng lên pít tông. Đây là nhóm các thông số vào quan trọng để tính toán khi áp dụng các mô hình khác. Tuy nhiên, mô hình này không có được các thông số về kết cấu xi lanh.

- Trường hợp có kể đến khe hở và không tương tác

- Ảnh hưởng của  $\Delta$ : trong khoảng  $\Delta = 0,1 - 0,2$  mm lực tác dụng lên thành xi lanh có giá trị nhỏ và tăng chậm (đi ngang). Khi  $\Delta > 0,2$  mm lực tác dụng lên thành xi lanh tăng nhanh hơn. Cũng từ các kết quả trên, về chuyển dịch ngang và số lần va đập của pít tông với thành xi lanh cho thấy: khi càng giảm khe hở, số lần va đập giữa PT - XL (điểm C) tăng. Việc lựa chọn khe hở giữa PT-XL trong tính toán thiết kế, ngoài việc đảm bảo các yêu cầu về làm kín, giảm mài mòn... thì cần quan tâm đến tần suất va đập giữa PT-XL để giảm rung ồn và các tác động có hại khác.

- *Ảnh hưởng của  $c_g$* : về độ lệch khối tâm  $c_g$ , khi tăng  $c_g$  giá trị max, min của lực tác dụng lên thành xi lanh tại C, D trên pít tông đều tăng. Tuy nhiên, mức độ tăng của nó không nhiều. Trong khoảng giá trị khảo sát, xuất hiện khoảng giá trị  $c_g = 4 - 6$  mm để lực tác dụng lên xi lanh nhỏ. *Tồn tại giá trị  $c_g = 5$  mm, lực tác dụng lên xi lanh đạt cực tiểu.* Về số lần va đập, khi tăng  $c_g$  số lần va đập tăng (đặc biệt ở điểm C). *Tại giá trị  $c_g = 5$  mm số lần va đập là ít nhất* (tại C một lần, D một lần) kết quả này cũng phù hợp với lực tác dụng của pít tông tại đó cực tiểu.

• *Trường hợp có khe hở và có tương tác*

- *Ảnh hưởng của  $\Delta$* : trong khoảng  $\Delta = 0,05 - 0,2$  mm lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh tăng, giảm đột biến và cực đại tại  $\Delta = 0,1$  mm. Trong khoảng  $\Delta = 0,2 - 0,3$  mm lực tương tác, chuyển vị giảm và đạt min. *Tồn tại miền giá trị khe hở  $\Delta = 0,2 - 0,3$  mm lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh đạt min.*

- *Ảnh hưởng của  $k_d$* : với  $1.974 e^1 < k_d < 1.974 e^4$  N/mm lực tương tác nhỏ ( $\approx 0$ ), trong khoảng  $1.974 e^4 \leq k_d \leq 1.974 e^7$  N/mm giá trị lực tương tác tăng mạnh (tồn tại giá trị  $k_d = 1.974 e^5$  N/mm, mà tại đó lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh max),  $k_d \geq 1.974 e^7$  /mm lực tương tác ổn định.

- *Ảnh hưởng của  $c_g$* : trong khoảng  $c_g$  từ 0- 5mm, giá trị max, min của lực tương tác tương đối ổn định (không tăng),  $c_g > 5$  mm lực tương tác tăng nhanh. Với chuyển vị thành xi lanh, giá trị  $c_g = 0$  lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh min. Trong khoảng  $0 < c_g \leq 1$  mm chuyển vị của thành xi lanh giảm (chuyển vị đạt min). trong khoảng  $1 < c_g \leq 2$  mm chuyển vị tăng đột biến và có cực trị của chuyển vị, trong khoảng  $2 < c_g \leq 5$  mm nhìn chung chuyển vị giảm (trừ giá trị max nút 92 tăng). Giá trị  $c_g > 6$  mm chuyển vị tăng nhanh.

- *Ảnh hưởng của  $c_p$* : khi  $c_p = 0$  lực tương tác, chuyển vị thành xi lanh nhỏ. Tuy nhiên, trong khoảng khảo sát, tồn tại  $c_p = 2 - 2,5$  mm giá trị max, min của lực tương tác nhỏ. Trong thực tế, đối với động cơ diesel, do áp suất của lực khí cháy ở cuối quá trình nén và quá trình cháy giãn nở lớn, nên lực ngang tác dụng lên hai phía thành xi lanh tương đối lớn,

nhên việc san đều lực ngang theo tiết diện ngang chỉ là tương đối và ít có ý nghĩa thực tiễn. Nên khi thiết kế đối với động cơ diesel thường chọn  $c_p = 0$ . Đối với động cơ xăng, để giảm thiểu tiếng “gõ” do va đập của pít tông, thường người ta khoan lệch bộ chốt về phía chịu lực ngang lớn. Tuy nhiên, cách này ít dùng vì ảnh hưởng đến động học CCKTTT.

- *Ảnh hưởng của h*: tăng h lực tương tác tăng. Đối với chuyển vị của thành xi lanh, khi tăng h từ 3 – 6,5 mm chuyển vị giảm nhanh. Tồn tại giá trị (ngưỡng)  $h = 6,5$  mm chuyển vị nhỏ, trong khoảng  $h > 6,5$  mm chuyển vị giảm ổn định.

## KẾT LUẬN CHUNG

*Luận án đã đạt được các kết quả chính và mới gồm :*

1. Đã trình bày một cách hệ thống kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả trong và ngoài nước về vấn đề nghiên cứu. Từ đó, tạm chia thành ba mô hình: *Không có khe hở và không tương tác, có khe hở và không tương tác; có khe hở và có tương tác.* Lựa chọn mô hình thứ hai để phát triển thành mô hình nghiên cứu của đề tài luận án. Từ đó, mô hình, phương trình, thuật toán và chương trình máy tính đã được thiết lập và thực hiện tính toán số áp dụng cho tính cho động cơ D6, khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu và liên kết đến sự tương tác của cụm PT – XL trong ba trường hợp nêu trên. Các kết quả nhận được từ việc tính toán nghiên cứu khảo sát khá phù hợp với thực tế và mô hình nghiên cứu tương tự đã được công bố. Từ đó, khẳng định tính đúng đắn, độ tin cậy của mô hình, phương trình, thuật toán và chương trình đã lập.

2. Mô hình cơ học đối với cụm PT – XL được xây dựng, có xét đến *yếu tố tương tác* do biến dạng của thành xi lanh và *yếu tố phi tuyến* do khe hở giữa pít tông và thành xi lanh, lực tương tác giữa chúng được thể hiện thông qua môi trường trung gian là màng dầu. Thân pít tông là một vật chuyển động song phẳng trong mặt phẳng chứa đường tâm xi lanh và vuông góc với đường tâm chốt pít tông. Kết cấu thành xi lanh được rời rạc hóa bằng PPPTH, với nền đàn hồi mô tả áo nước làm mát, chịu tác dụng của lực tương tác có *điểm đặt di động* theo hành trình của pít tông theo phương thẳng đứng. Các thông số ra cần xác định là dịch chuyển ngang của thân pít tông (các điểm A, B, C, D trên thân pít tông), lực tương tác và chuyển vị ngang của kết cấu thành xi lanh. Mô hình tổng quát đã được xây dựng cho phép nghiên cứu các trường hợp riêng lẻ, tùy theo điều kiện bài toán mà không cần phải xây dựng mô hình cho từng trường hợp riêng. *Đây là các kết quả mới của tác giả.* Thiết lập hệ phương trình vi phân mô tả tương tác giữa thân pít tông với một phần từ

thuộc kết cấu thành xi lanh trực tiếp tiếp xúc và tương tác với pít tông, trong đó có các ma trận và véc tơ tải trọng nút chứa các thành phần lực tương tác phi tuyến có điểm đặt thay đổi. *Đây là các kết quả mới của tác giả.* Là cơ sở thiết lập phương trình toàn hệ.

3. Thiết lập thuật toán chi tiết và chương trình máy tính bằng phương pháp số với ngôn ngữ Matlab để giải bài toán tương tác phi tuyến giữa thân pít tông và thành xi lanh trong động cơ. Miền thời gian khảo sát là một chu trình công tác của động cơ 4 kỳ. Tại mỗi thời điểm, đã xác định được vị trí của pít tông theo phương thẳng đứng, PTHH kết cấu xi lanh chịu tương tác với pít tông. Các ma trận (khối lượng, cản, độ cứng) và vectơ tải trọng nút được xác định trong từng thời điểm, tùy theo vị trí của pít tông. Tích phân số được thực hiện theo phương pháp Newmark, cho phép xác định được chuyển động của pít tông theo phương ngang, biến dạng của xi lanh và lực tương tác giữa chúng theo thời gian. *Đây là kết quả mới, vừa là mục tiêu vừa là công cụ nghiên cứu của luận án.*

4. Ví dụ tính toán số để kiểm tra độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã lập được áp dụng tính cho cụm PT - XL động cơ D6, là động cơ diesel 4 kỳ tốc độ cao, làm mát bằng nước. Các tính toán số đối với cụm PT - XL của động cơ D6 đã rút ra những nhận xét, đánh giá ảnh hưởng của các thông số kết cấu và liên kết đối với 2 thông số ra cần quan tâm là: *lực tương tác và biến dạng của thành xi lanh.* Tính toán khảo sát được tiến hành cho ba trường hợp nêu trên. Kết quả nhận được là giá trị và các khoảng giá trị của các thông số kết cấu và liên kết của cụm PT - XL để có lực tương tác và chuyển vị của thành xi lanh là nhỏ nhất (giá trị định lượng của các thông số được trình bày chi tiết ở chương 4). Các thông số đó đều trong các miền giá trị được khuyến cáo khi thiết kế pít tông, xi lanh nói chung và động cơ D6 nói riêng. Điều đó chứng tỏ độ tin cậy của mô hình đã được xây dựng trong luận án.

### **KIẾN NGHỊ VỀ NHỮNG HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO**

Qua nội dung nghiên cứu trong luận án, Tác giả luận án xin kiến nghị về một số hướng nghiên cứu tiếp theo như sau:

1. Nghiên cứu tương tác phi tuyến của cụm PT-XL ở chế độ tốc độ chuyển tiếp.
2. Nghiên cứu sâu về ảnh hưởng của màng dầu bôi trơn (sự thay đổi bề dày do chuyển động của pít tông trong khe hở, đặc tính động học do nhiệt độ cao...), lớp áo nước làm mát bao quanh mặt ngoài xi lanh đến tính chất tương tác giữa chúng.
3. Nghiên cứu tương tác giữa pít tông và thành xi lanh có kể đến biến dạng của pít tông do tải trọng cơ và nhiệt.