

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MICROSOFT EXCEL TRONG TÍNH TOÁN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA XÂY DỰNG ĐỒ THỊ ĐỘNG LỰC HỌC CƠ CẤU TRỤC KHUYU - THANH TRUYỀN ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

Lê Huy Soạn*, Nguyễn Tấn Nhựt
Trường Đại học Bình Dương

Tóm tắt:

Nghiên cứu động lực học cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền đóng vai trò cốt lõi trong phân tích trạng thái chịu lực, kiểm nghiệm bền và tính toán cân bằng cho động cơ đốt trong (Nguyễn, 2021). Các phương pháp tính toán và xây dựng đồ thị động lực học truyền thống bằng thủ công thường tốn nhiều thời gian và dễ dẫn đến sai số lớn. Bài báo này trình bày giải pháp ứng dụng phần mềm Microsoft Excel để thiết lập chương trình tính toán số và tự động hóa quá trình xuất đồ thị động lực học cho động cơ. Trên cơ sở các thuật toán lập trình bảng tính, nhóm tác giả đã xây dựng thành công hệ thống các đồ thị khai triển theo góc quay trục khuỷu (α), bao gồm: lực khí thể (P_k), lực quán tính (P_i), hợp lực tác dụng lên piston (P_+), lực tiếp tuyến (T), lực pháp tuyến (Z), cùng đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu động cơ. Mô hình được thử nghiệm kiểm chứng dựa trên các thông số kỹ thuật danh định của động cơ xăng V8 Zil-130 (Vy và cộng sự, 2006). Kết quả nghiên cứu là công cụ trực quan hữu ích, góp phần nâng cao chất lượng giảng dạy, học tập đồ án môn học và nghiên cứu chuyên ngành Công nghệ Kỹ thuật Ô tô.

Từ khóa: Động lực học cơ cấu; Trục khuỷu - thanh truyền; Lực khí thể; Lực quán tính; Microsoft Excel.

DOI:

Application of Microsoft excel software in calculation and automation of dynamic graph construction for crankshaft - connecting rod mechanism of internal combustion engines

Abstract:

Researching the dynamics of the crankshaft-connecting rod mechanism plays a fundamental role in evaluating load distribution, checking structural fatigue, and balancing internal combustion engines (Nguyễn, 2021). Traditional manual calculation and graphical methods for dynamic diagrams are time-consuming, labor-intensive, and highly prone to human accumulation errors. This paper proposes an efficient solution by utilizing Microsoft Excel to build a numerical computation program and automate the generation of engine dynamic graphs. Based on mathematical spreadsheet algorithms, the authors successfully constructed a synchronized system of development graphs plotted against the crankshaft rotation angle (α), including: the gas force graph (P_k), the inertial force graph (P_i), the composite piston force graph (P_+), the tangential force graph (T), the normal force graph (Z), and the crankpin polar load diagram. The mathematical model was validated and verified using the nominal technical specifications of the Zil-130 V8 gasoline engine (Vy và cộng sự, 2006). The research results provide an intuitive, practical educational tool that significantly enhances the teaching quality, coursework assignments, and scientific research in the field of Automotive Engineering Technology.

Keywords: Mechanism dynamics; Crankshaft - connecting rod; Gas force; Inertial force; Microsoft Excel.

1. Đặt vấn đề

Trong chương trình đào tạo kỹ sư ngành Công nghệ Kỹ thuật Ô tô tại các trường đại học, môn học Động cơ đốt trong – đặc biệt là phần nội dung Động lực học cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền – giữ một vị trí đặc biệt quan trọng (Nguyễn, 2021). Phân hệ lý thuyết này cung cấp các kiến thức cơ bản về quy luật biến thiên của tải trọng tác dụng trong xi-lanh và trên các chi tiết chuyển động, làm cơ sở vững chắc để người học tiến hành tính toán kiểm nghiệm bền mỏi, phân tích động học và thiết kế kết cấu hệ thống truyền lực (Nguyễn, 2014). Tuy nhiên, việc thực hiện phần nội dung này trong các đồ án môn học hiện nay đang gặp phải những rào cản mang tính hệ thống. Người học phải xử lý một khối lượng số liệu toán học phi tuyến khổng lồ, sau đó tiến hành phương pháp đồ giải

(vẽ thủ công từng điểm lực trên giấy kẻ ly) để xây dựng hệ thống đồ thị lực. Quy trình này thường kéo dài từ một đến hai tuần, tốn nhiều công sức nhưng độ chính xác không cao, dễ tích lũy sai số và khó thực hiện các bài toán tối ưu hóa tham số kết cấu (Vy và cộng sự, 2006).

Để giải quyết bài toán này, xu hướng tin học hóa bằng cách ứng dụng các phần mềm máy tính vào công tác tính toán và mô phỏng đã được triển khai rộng rãi (Trần và cộng sự, 2018). Mặc dù các phần mềm chuyên dụng hoặc ngôn ngữ lập trình bậc cao sở hữu thuật toán xử lý mạnh mẽ, nhưng chúng lại đòi hỏi người sử dụng phải có kỹ năng lập trình chuyên sâu, bản quyền phần mềm đắt đỏ, từ đó hạn chế tính phổ biến trong môi trường giáo dục đại học (Nguyễn, 2006). Trong bối cảnh đó, Microsoft Excel nổi lên như một giải pháp thay thế lý tưởng nhờ giao diện bảng tính trực quan, tích hợp sẵn hệ thống hàm toán học phong phú và công cụ xuất đồ thị mạnh mẽ (Microsoft support). Việc ứng dụng Excel không chỉ đơn giản hóa quy trình tính toán, tự động hóa 100% quá trình xuất đồ thị khai triển lực, mà còn giúp người học dễ dàng tương tác, thay đổi thông số cấu hình để khảo sát các dòng động cơ khác nhau (Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia). Nghiên cứu này tập trung vào việc số hóa hệ thống công thức giải tích động lực học, xây dựng chương trình tính toán tự động trên Excel và kiểm chứng độ chính xác thông qua bộ số liệu thực tế của động cơ Zil-130, hướng tới mục tiêu nâng cao hiệu

quả giảng dạy và nghiên cứu khoa học chuyên ngành (Hồ và cộng sự, 2001).

2. Cơ sở lý thuyết về động lực học cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền

2.1. Hệ lực tác dụng tổng quát lên cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền

Trong suốt chu trình công tác của động cơ đốt trong (bao gồm các quá trình Nạp - Nén - Nổ - Thải), cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền (CCTK-TT) là hệ thống chịu tải trọng động trực tiếp và phức tạp nhất. Các linh kiện thuộc cơ cấu này liên tục chịu tác động đồng thời của tải trọng nhiệt từ màng khí cháy và tải trọng cơ học có giá trị cực kỳ lớn, biến thiên phi tuyến theo quy luật góc quay của trục khuỷu (α). Về mặt cơ học, hệ lực kích thích tác dụng lên một cơ cấu giao tâm (đường tâm xi-lanh cắt đường tâm trục khuỷu) được tường minh hóa thông qua sơ đồ giải tích các thành phần lực phân rã trên Hình 1.

Các thành phần lực thành phần tham gia vào sơ đồ động lực học bao gồm:

Áp suất khí thể tức thời trong buồng cháy (p) và áp suất môi trường khí thải/khí trời phía dưới đáy piston (p_o).

Hợp lực tổng cộng đặt tại tâm chốt piston (P_I), đóng vai trò là nguồn động lực chính dọc theo đường tâm xi-lanh.

Lực thành phần truyền dọc theo trục đối xứng của thanh truyền (P_{II}).

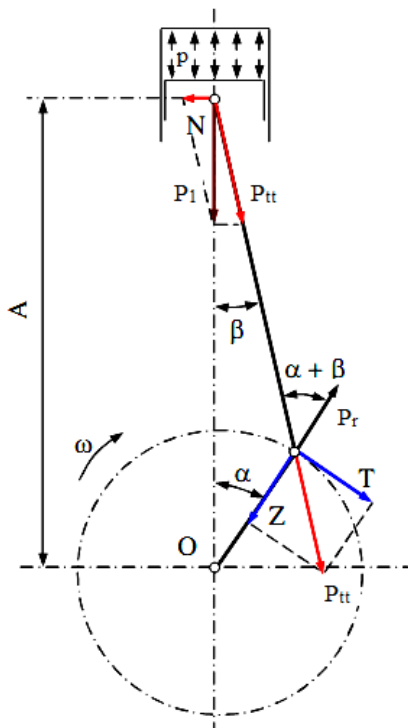
Lực ngang (N) ép piston vào bề mặt ống lót xi-lanh (gây ra hiện tượng gõ piston và mài mòn vách xi-lanh).

Lực quán tính ly tâm (P_r) sinh ra do chuyển động quay đều của khối lượng

chốt khuỷu và phân thành truyền phân phối về tâm quay.

Lực tiếp tuyến (T) tác dụng vuông góc với má khuỷu, đây là thành phần lực duy nhất tạo ra mô-men quay có ích cho động cơ.

Lực pháp tuyến (Z) tác dụng dọc theo chiều má khuỷu hướng về tâm hoặc hướng ra xa tâm trục khuỷu.



Hình 1. Hệ lực tác dụng lên cơ cấu trục khuỷu thanh truyền

Nguồn: Nguyễn, 2006

Các thông số hình học và động học liên kết bao gồm: góc quay của má khuỷu (α) đo từ điểm chết trên, góc lắc của thanh truyền (β) so với đường tâm xi-lanh, và vận tốc góc của trục khuỷu (ω) đặc trưng cho chế độ tốc độ của động cơ (Nguyễn, 2006).

2.2. Xác định lực khí thể (P_{kt})

Lực khí thể sinh ra do áp suất của khí cháy trong buồng đốt tác dụng trực tiếp lên bề mặt đỉnh piston. Trị số và chiều tác dụng của lực khí thể thay đổi liên tục theo hành trình của piston và phụ thuộc chặt chẽ vào đồ thị công chỉ thị $p-\alpha$ của chu trình nhiệt động (Nguyễn, 2021). Lực khí thể tác dụng dọc theo đường tâm xi-lanh được xác định bằng hệ thức giải tích sau (Nguyễn, 2014):

$$P_{kt} = (p - p_o)F_p \quad [\text{MN}] \quad (1)$$

Trong đó các đại lượng được định nghĩa chuẩn hóa như sau:

p : Áp suất tức thời của môi chất khí cháy bên trong lòng xi-lanh phụ thuộc vào góc quay α , tính bằng Megapascal [MPa].

p_o : Áp suất môi trường tác dụng ngược chiều lên phía dưới đỉnh piston, tính bằng Megapascal [MPa]. Đối với các dòng động cơ bốn kỳ không tăng áp, giá trị p_o thường được thiết lập bằng áp suất khí quyển tiêu chuẩn ($p_o = p_k \approx 0,1013 \text{ MPa}$).

F_p : Diện tích tiết diện ngang của đỉnh piston, tính bằng vuông mét [m^2]. liên hệ với đường kính xi-lanh D qua hệ thức: $F_p = \pi \cdot D^2 / 4$.

Về quy ước hình học và véc-tơ lực:

Điểm đặt lực: Đặt tại tâm hình học của đỉnh piston (đối với kết cấu cơ cấu giao tâm).

Phương tác dụng: Trùng hoàn toàn với đường tâm hình học dọc của xi-lanh.

Chiều tác dụng và quy ước dấu: Chiều hướng về phía tâm của trục khuỷu (giai đoạn giãn nở sinh công) được quy ước mang giá trị đại số dương (+).

Ngược lại, chiều hướng ra xa tâm trục khuỷu (giai đoạn nén khí) được quy ước mang giá trị đại số âm (-).

2.3. Lực quán tính của khối lượng chuyển động tịnh tiến (P_j) và hợp lực tác dụng lên piston (P_I)

Trong quá trình động cơ làm việc, nhóm piston (bao gồm piston, xéc-măng, chốt piston và đầu nhỏ thanh truyền) thực hiện chuyển động tịnh tiến khứ hồi biến tốc trong lòng xi-lanh. Sự thay đổi liên tục về vận tốc và gia tốc của khối lượng này sinh ra lực quán tính chuyển động tịnh tiến (P_j).

Áp dụng phương pháp khai triển chuỗi Fourier cho phương trình gia tốc của cơ cấu giao tâm và giữ lại hai thành phần hài bậc một và bậc hai, lực quán tính được xác định theo mô hình giải tích sau (Nguyễn, 2014):

$$P_j = -m_j \omega^2 R (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha) 10^{-6} \quad [\text{MN}] \quad (2)$$

Trong đó, các thông số kỹ thuật được quy chuẩn định nghĩa như sau:

m_j : Tổng khối lượng của các chi tiết tham gia vào chuyển động tịnh tiến khứ hồi, tính bằng kilôgam [kg]. Khối lượng này được xác định bằng hệ thức: $m_j = m_{pt} + m_{bd} + m_l$ (với m_{pt} là khối lượng nhóm piston, m_{bd} là khối lượng cụm chốt, và m_l là khối lượng đầu nhỏ thanh truyền được quy dẫn).

ω : Vận tốc góc của trục khuỷu động cơ ở chế độ khảo sát, tính bằng radians trên giây [rad/s], liên hệ với tốc độ quay n [vòng/phút] qua công thức: $\omega = \pi n / 30$.

R : Bán kính quay của má khuỷu (bằng một nửa hành trình piston S), tính bằng mét [m].

λ : Hệ số kết cấu của cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền, đặc trưng cho độ dài tương đối của thanh truyền: $\lambda = R/l$ (với l là chiều dài tâm lỗ của thanh truyền, [m]). Thông thường, đối với động cơ ô tô, giá trị này nằm trong khoảng $0,24 \leq \lambda \leq 0,31$ (Heywood, 2018).

Lực quán tính P_j luôn tác dụng dọc theo đường tâm xi-lanh. Khi piston ở vùng lân cận Điểm Chết Trên (ĐCT), P_j có giá trị đại số âm (véc-tơ hướng lên trên); khi piston ở vùng lân cận Điểm Chết Dưới (ĐCD), P_j mang giá trị dương (véc-tơ hướng xuống dưới) (Nguyễn, 2006).

Trên đỉnh chốt piston, lực khí thể thực tế (P_{kt}) và lực quán tính chuyển động tịnh tiến (P_j) tác dụng đồng thời dọc theo đường tâm xi-lanh. Hợp lực tổng cộng tác dụng lên piston (P_I) được xác định bằng phép cộng đại số các giá trị tức thời tại từng tọa độ góc quay α :

$$P_I = P_{kt} + P_j \quad [\text{MN}] \quad (3)$$

Hợp lực P_I là đại lượng động lực học cốt lõi, đại diện cho năng lượng cơ học thực tế truyền từ buồng cháy xuống hệ thống truyền lực phía sau.

2.4. Mô hình phân rã lực tác dụng lên chốt khuỷu

Hợp lực P_I truyền đến tâm chốt piston sẽ tác dụng vào đầu nhỏ thanh truyền và đẩy thân thanh truyền làm quay trục khuỷu. Do thanh truyền nằm nghiêng một góc lắc β so với đường tâm

xi-lanh, theo nguyên lý hình học lực, hợp lực P_l tại tâm chốt piston được phân rã thành hai thành phần véc-tơ vuông góc với nhau (Nguyễn, 2014):

$$N = P_1 \tan \beta \quad [\text{MN}] \quad (4)$$

$$P_{tt} = \frac{P_1}{\cos \beta} \quad [\text{MN}] \quad (5)$$

Trong đó:

N : Lực ngang, có phương vuông góc với đường tâm xi-lanh, ép piston vào vách xi-lanh tạo ra ma sát và mô-men lật nhóm piston.

P_{tt} : Lực truyền dọc theo đường tâm trục của thân thanh truyền hướng xuống đầu to thanh truyền.

Khi lực P_{tt} truyền đến tâm chốt khuỷu, nó tiếp tục được phân rã thành hai thành phần lực mới dựa trên hệ tọa độ cực gắn liền với má khuỷu bao gồm Lực tiếp tuyến (T) và Lực pháp tuyến (Z) (Nguyễn, 2006):

$$T = P_1 \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad [\text{MN}] \quad (6)$$

$$Z = P_1 \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad [\text{MN}] \quad (7)$$

Lực T : Có phương vuông góc với bán kính quay của má khuỷu. Đây là thành phần lực duy nhất sinh ra mô-men quay tổng thể của động cơ: $M_q = TR$. Chiều của T quy ước dương (+) khi nó tạo ra mô-men cùng chiều quay của trục khuỷu.

Lực Z : Có phương dọc theo má khuỷu, đi qua tâm quay của trục khuỷu. Chiều của Z được quy ước dương (+) khi véc-tơ có xu hướng hướng vào tâm trục khuỷu (gây nén má khuỷu) và âm (-) khi hướng ra xa tâm trục khuỷu (gây kéo má khuỷu).

Bên cạnh lực truyền từ thân thanh truyền xuống (P_{tt}), chốt khuỷu còn phải chịu tác động liên tục của lực quán tính ly tâm không đổi về trị số nhưng luôn thay đổi về hướng theo tốc độ góc ω . Lực quán tính ly tâm tổng hợp (P_{ko}) sinh ra bởi khối lượng quay lệch tâm của đầu to thanh truyền được xác định bằng công thức (Nguyễn, 2006):

$$P_{ko} = m_2 R \omega^2 10^{-6} \quad [\text{MN}] \quad (8)$$

Trong đó: m_2 là phần khối lượng của thanh truyền được quy dẫn về tâm chốt khuỷu thông qua định luật phân phối khối lượng (thường chiếm từ 65% - 75% tổng khối lượng thân thanh truyền) (Hồ và cộng sự, 2001).

Do đó, hợp lực thực tế tác dụng lên chốt khuỷu (Q_{ch}) là tổng véc-tơ của lực truyền dọc thanh truyền và lực quán tính ly tâm quay (Nguyễn, 2014):

$$Q_{ch} = P_{tt} + P_{ko}$$

$$Q_{ch} = (T + Z) + P_{ko} \quad [\text{MN}] \quad (9)$$

Để thuận tiện cho việc lập trình tính toán số trên bảng tính Excel, véc-tơ hợp lực Q_{ch} được chiếu lên hệ tọa độ vuông góc gắn với má khuỷu (trục tiếp tuyến và trục pháp tuyến). Trị số đại số tuyệt đối của hợp lực chốt khuỷu tại mỗi điểm góc quay α được tính toán thông qua định lý Pitago mở rộng (Nguyễn, 2006):

$$Q_{ch} = \sqrt{T^2 + (Z + P_{ko})^2} \quad [\text{MN}] \quad (10)$$

Trong quá trình thiết lập công thức trên các ô tính Excel, mối quan hệ hàm lượng giác giữa góc lắc thanh truyền β và góc quay má khuỷu α được giải bằng biểu thức liên kết Briks trực tiếp nhằm tối ưu hóa tốc độ xử lý của bảng tính (Vy và cộng sự, 2006):

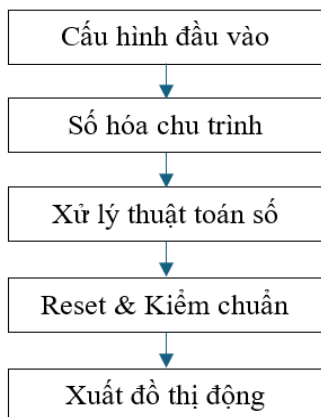
$$\sin\beta = \lambda\sin\alpha$$

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \lambda^2\sin^2\alpha} \quad (11)$$

3. Xây dựng chương trình tính toán và số liệu khảo sát

3.1. Thuật toán tổ chức chương trình trên Excel

Để số hóa hệ thống công thức giải tích động lực học, chương trình được thiết lập trên bảng tính Microsoft Excel theo cấu trúc phân tầng dữ liệu logic. Chu kỳ góc quay trục khuỷu α từ 0° đến 720° được chia nhỏ thành lưới dữ liệu một chiều với bước nhảy $\Delta\alpha = 10^\circ$, tương ứng với 73 bản ghi dòng liên tục (Microsoft support).



Hình 2. Sơ đồ khối tiến trình thuật toán của chương trình tính toán động lực học trên Excel

Để hiện thực hóa công cụ này mà không cần dùng đến các dòng mã VBA (Visual Basic for Applications) phức tạp nhằm giữ tính thân thiện tối đa cho người học, chương trình tổ chức các cột tính logic tuyến tính liên kết. Tại cột đầu tiên (Cột A), các giá trị góc quay trục khuỷu α được kéo tự động từ dòng thứ 2 đến dòng thứ 74 (tương ứng từ 0° , 10° , 20° , ..., 720°).

Quy trình nhập công thức toán học chuyên ngành được chuyển đổi sang cú pháp hàm Excel tại các cột tiếp theo như sau:

Tính toán góc lắc thanh truyền β (Cột B): Do hàm lượng giác trong Excel (sin, cos) mặc định sử dụng đơn vị radians, công thức tại ô tính đầu tiên được thiết lập dưới dạng:

$$=asin(\$lambda*\sin(radians(A2)))$$

Tính toán lực quán tính P_j (Cột C): Áp dụng trực tiếp công thức số (2) bằng cú pháp:

$$=-mj*(\omega^2)*R*(\cos(radians(A2))+\$lambda*\cos(2*radians(A2)))*10^{-6}$$

Nhập áp suất chỉ thị p và tính lực khí thể P_{kt} (Cột D và E): Giá trị áp suất p tại từng góc độ được tra cứu động từ bảng dữ liệu khai triển đồ thị công $p-\alpha$. Sau đó, lực khí thể được tính bằng cú pháp Excel:

$$=(D2 - p_0)*(PI)*(D^2)/4)$$

Tính toán các thành phần lực dẫn xuất T và Z (Cột F và G): Sử dụng các ô trung gian của hợp lực P_l (bằng tổng đại số cột C và cột E), lực tiếp tuyến và pháp tuyến được lập trình bằng cú pháp:

$$= P1*\sin(radians(A2) + B2)/\cos(B2)$$

$$= P1*\cos(radians(A2) + B2)/\cos(B2)$$

Chương trình tích hợp chức năng RESET thông qua cơ chế quản lý ô hằng số độc lập. Khi người sử dụng thay đổi các thông số tại ô đầu vào, toàn bộ 73 dòng dữ liệu trung gian và hệ thống đồ thị liên kết sẽ lập tức tự động cập nhật, tối ưu hóa thời gian tính toán khảo sát (Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia).

3.2. Thông số kỹ thuật thực tế của động cơ Zil-130

Để kiểm chứng độ chính xác của chương trình, nhóm tác giả sử dụng bộ thông số danh định của động cơ xăng Zil-130 (Vy và cộng sự, 2006):

Kiểu loại động cơ: Động cơ xăng, 4 kỳ, cấu hình 8 xi-lanh bố trí hình chữ V với góc lệch giữa hai nhánh xi-lanh là $\gamma = 90^\circ$. Thứ tự nổ (làm việc) của các xi-lanh được xác lập theo chu kỳ: 1-5-4-2-6-3-7-8. Do cấu trúc chữ V chung một chốt khuỷu cho hai thanh truyền đồng hàng, bài toán tính phụ tải chốt khuỷu sẽ được nhân đôi tọa độ góc pha lực (lệch pha góc 90° công tác).

Chế độ công suất cực đại (N_e): Đạt giá trị 110 kW tại tốc độ quay định mức $n = 3250$ vòng/phút. Đây là chế độ động học chính được sử dụng để tính toán vận tốc góc trục khuỷu: $\omega = \frac{\pi 3250}{30} = 340,3 \text{ rad/s}$.

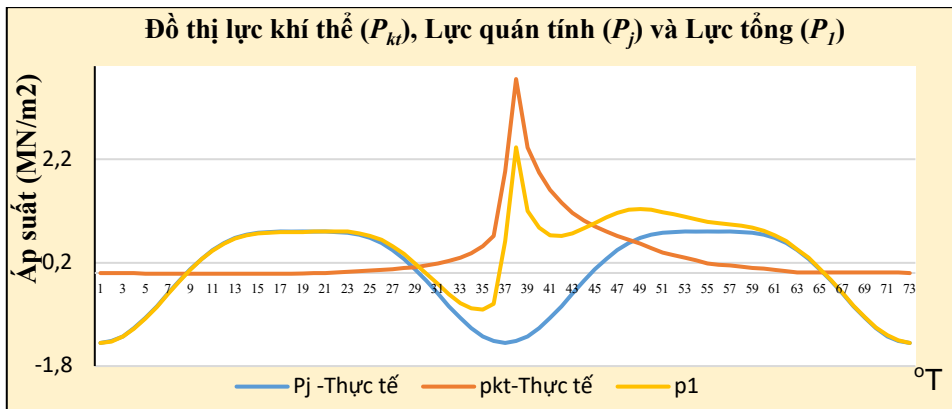
Chế độ mô-men xoắn cực đại (M_{max}): Đạt 200 Nm tại tốc độ quay $n = 2400$ vòng/phút.

Thông số hình học cơ cấu: Đường kính danh nghĩa xi-lanh: $D = 100 \text{ mm}$; Hành trình của piston: $S = 95 \text{ mm}$; Bán kính quay má khuỷu $R = 47,5 \text{ mm}$; Chiều dài tâm lỗ thanh truyền: $l = 185 \text{ mm}$; Hệ số kết cấu cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền: $\lambda = 0,25$.

Thông số pha phối khí và góc chuyên dụng (tính theo độ góc quay trục khuỷu - $^\circ\text{TK}$): Góc mở sớm của xu-páp nạp (α_1): 31°TK trước ĐCT; Góc đóng muộn của xu-páp nạp (α_2): 83°TK sau ĐCD; Góc mở sớm của xu-páp xả (β_1): 67°TK trước ĐCD; Góc đóng muộn của xu-páp xả (β_2): 47°TK sau ĐCT; Góc đánh lửa sớm (φ_{dl}): 15°TK trước ĐCT (Vy và cộng sự, 2006).

3.3. Hệ thống đồ thị kết quả và phân tích đặc tính phụ tải

Từ mảng dữ liệu số hóa, công cụ đồ thị của Excel tự động xuất ra các biểu đồ khai triển động lực học đồng bộ dọc theo chu trình công tác 720°TK .

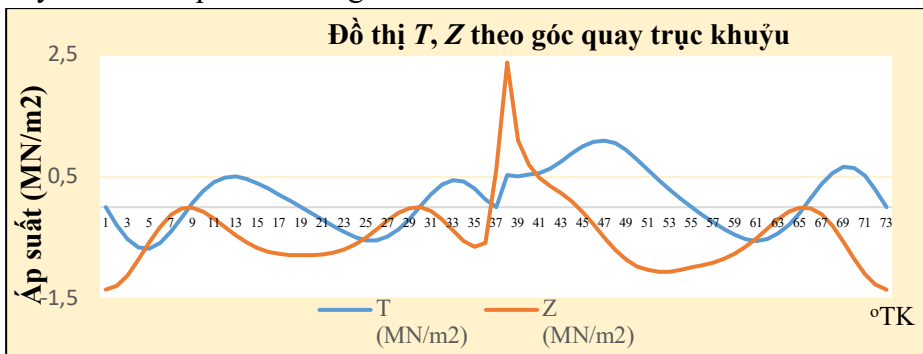


Hình 3. Đồ thị khai triển các thành phần lực tác dụng dọc tâm xi-lanh (P_{kt} , P_j , P_l) theo góc quay trục khuỷu (α)

Đồ thị biểu diễn quy luật biến thiên của các lực tác dụng dọc tâm xi-lanh Hình 3. Lực khí thể P_{kt} biến thiên đột biến, đạt giá trị cực đại (P_{ktmax}) ngay sau thời điểm piston qua ĐCT ($\alpha = 360^\circ$) thuộc kỳ cháy và giãn nở, phụ thuộc hoàn toàn vào diễn biến áp suất khí cháy trong buồng đốt (Heywood, 2018). Lực quán tính tịnh tiến P_j biến thiên tuần hoàn dạng hình sin lệch bậc, đạt giá trị cực tiểu đại số tại các vị trí ĐCT và cực đại đại số tại các vị trí ĐCD. Hợp lực piston P_l (đường tổng hợp đại số của P_{kt} và P_j) phản ánh màng năng lượng thực tế truyền từ đỉnh piston xuống đầu nhỏ

thanh truyền, làm cơ sở để tính toán bền chốt piston và phân tích cân bằng khối lượng chuyển động tịnh tiến của động cơ (Nguyễn, 2021).

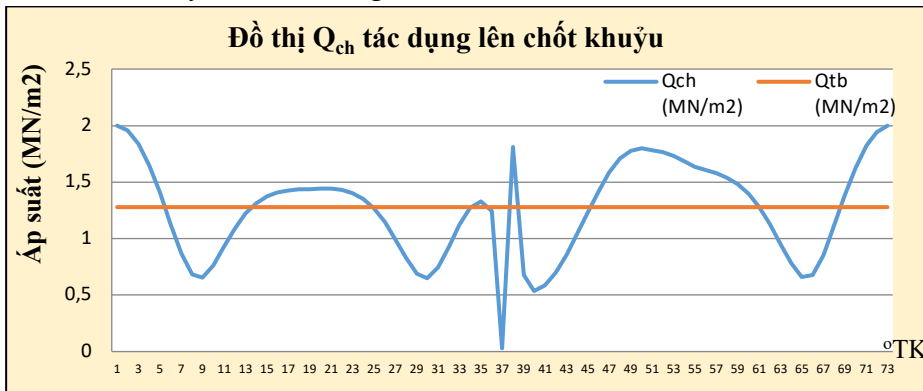
Đồ thị khai triển lực tiếp tuyến (T) và lực pháp tuyến (Z) Hình 4. Lực tiếp tuyến T biến thiên cắt trục không tại các vị trí điểm chết và đạt đỉnh tại kỳ sinh công ($\alpha \approx 375^\circ\text{TK}$), đây là lực cốt lõi tạo ra mô-men quay và quyết định việc tính toán thiết kế khối lượng bánh đà nhằm đồng đều hóa tốc độ góc trục khuỷu (Nguyễn, 2014).



Hình 4. Đồ thị khai triển lực tiếp tuyến (T) và lực pháp tuyến (Z) theo góc quay trục khuỷu (α)

Lực pháp tuyến Z đạt trị số cực đại tại ĐCT ($\alpha = 360^\circ$), gây tải trọng nén lớn lên thân má khuỷu và là thông số bắt

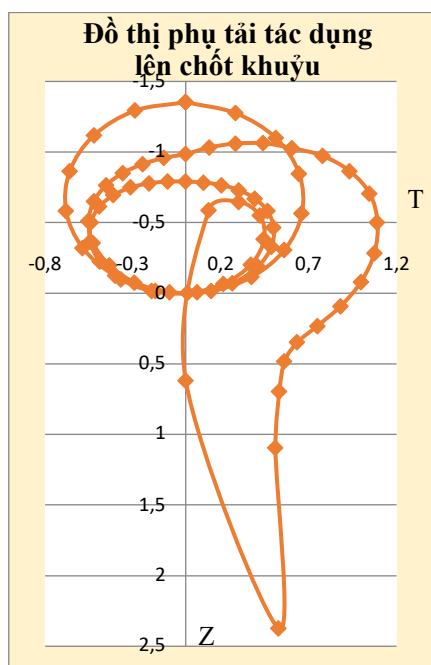
buộc để kiểm nghiệm uốn, xoắn cổ trục (Taraza, 2002).



Hình 5. Đồ thị khai triển trị số tuyệt đối của hợp lực tác dụng lên chốt khuỷu (Q_{ch})

Đồ thị khai triển trị số tuyệt đối của hợp lực tác dụng lên chốt khuỷu Q_{ch} Hình 5 giúp xác định giá trị hợp lực trung bình (Q_{tb}), phản ánh mức độ thích ứng chịu tải tổng thể của kết cấu ở chế độ khảo sát (Nguyễn, 2006).

Đặc biệt, kết quả đồ thị phụ tải véc-tơ cực (Polar Diagram) trên Hình 6 biểu diễn cả hướng và độ lớn của hợp lực tác dụng lên từng vị trí bề mặt của chốt khuỷu tại mỗi thời điểm quay. Đối với cấu hình chữ V8 chung một chốt khuỷu của động cơ Zil-130, véc-tơ phụ tải có dạng đường cong khép kín đan xen phức tạp do chịu sự tác động đồng thời của hai thanh truyền lệch pha góc 90° (Vy và cộng sự, 2006). Ý nghĩa thực tiễn lớn nhất của đồ thị cực này là giúp các kỹ sư cơ khí xác định chính xác vị trí "vùng mù tải trọng" – vùng bề mặt chốt khuỷu chịu lực tác dụng ít nhất hoặc hầu như không chịu tải trong suốt chu trình 720° .



Hình 6. Đồ thị phụ tải véc-tơ (đồ thị phụ tải dạng cực) tác dụng lên chốt khuỷu

Tọa độ góc thuộc vùng áp suất thấp này sẽ được lựa chọn để khoan lỗ dẫn dầu bôi trơn từ cổ trục ra cổ chốt, đảm bảo màng dầu bôi trơn thủy động không bị phá hủy, giảm mài mòn cục bộ và ngăn ngừa hiện tượng bó kẹt bạc lót khi động cơ làm việc ở chế độ tải trọng cao (Nguyễn, 2006), (Oto-Hui).

4. Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu, xây dựng giải thuật toán số và thử nghiệm mô phỏng trên động cơ Zil-130, đề tài đã hoàn thành các mục tiêu đề ra với những kết luận khoa học cốt lõi sau:

Đã ứng dụng thành công phần mềm Microsoft Excel để thiết lập một chương trình tính toán số hóa tự động đồng bộ hệ thống đồ thị động lực học cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền, đảm bảo độ chính xác cao và loại bỏ hoàn toàn các sai số thủ công truyền thống (Microsoft support).

Hệ thống đồ thị khai triển lực (P_{kt} , P_j , P_l , T , Z , Q_{ch}) cùng đồ thị phụ tải dạng cực xuất ra từ Excel có độ tin cậy cao, là nguồn dữ liệu quan trọng phục vụ trực tiếp cho các bài toán kiểm nghiệm bền chi tiết, tính toán cân bằng động cơ và tối ưu hóa hệ thống bôi trơn thủy động thông qua vị trí khoan lỗ dầu (Nguyễn, 2006).

Chức năng RESET của chương trình mang lại tính linh hoạt cao, cho phép cập nhật tức thời toàn bộ ma trận dữ liệu và đồ thị khi thay đổi thông số của một dòng động cơ mới, tạo điều kiện thuận lợi cho việc khảo sát, so sánh đa phương

án thiết kế (Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia).

Sản phẩm nghiên cứu là một công cụ trực quan, giúp giải phóng người học khỏi khối lượng tính toán thủ công nặng

nề trong các đồ án môn học, góp phần nâng cao tư duy phân tích bản chất kỹ thuật và chất lượng đào tạo chuyên ngành Công nghệ Kỹ thuật Ô tô tại Trường Đại học Bình Dương (Hồ và cộng sự, 2001).

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn, T. T. (2021). Nguyên lý động cơ đốt trong. *Nhà xuất bản Giáo dục*.
- Nguyễn, T. N. (2014). Giáo trình kết cấu và tính toán động cơ đốt trong. *Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật*.
- Nguyễn, V. T. (2006). Động cơ đốt trong 2: Tập phân tích động lực học và kết cấu. *Nhà xuất bản Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh*.
- Vy, H. T., & Vũ, A. T. (1999). Hướng dẫn đồ án môn học Tính toán động cơ đốt trong. *Nhà xuất bản Học viện Kỹ thuật Quân sự*.
- Hồ, T. C., Nguyễn, Đ. P., & Trần, V. T. (2001). Tính toán thiết kế động cơ đốt trong. *Nhà xuất bản Giáo dục*.
- Trần, V. N., & Lê, H. Đ. (2018). "Ứng dụng phần mềm máy tính trong tối ưu hóa các thông số kết cấu cơ cấu trục khuỷu thanh truyền động cơ ô tô". *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, 12, 45-51.
- Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals (2nd ed.). *McGraw-Hill Education*.
- Taraza, D. (2002). A new approach for the dynamic analysis of the crankshaft-connecting rod mechanism. *SAE International*. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0215>
- Hiệp hội Kỹ sư Ô tô Quốc tế. *SAE International*. <https://www.sae.org/>
- Oto-Hui Research. *Cổng thông tin Khoa học Công nghệ Ngành Ô tô - Xe máy*. <https://oto-hui.com/>
- Microsoft Support. *Excel functions official documentation*. <https://support.microsoft.com/en-us/excel>
- Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia. Thư viện số tài liệu nội địa. *Thư viện số Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia*. <http://luanvan.vista.gov.vn/>

Thông tin bài

Ngày nhận bài: 04/06/2026
Ngày hoàn thành: 23/6/2026
Ngày đăng bài: 29/6/2026
Tác giả liên hệ: Lê Huy Soạn
Email: lhsoan@bdu.edu.vn