

Xây dựng chương trình tính toán động lực học động cơ đốt trong bốn kỳ

Developing a program for calculating the dynamics of four-stroke internal combustion engines

Trần Thanh Hùng^{a*}, Trương Đình Phong^b
Tran Thanh Hung^{a*}, Truong Dinh Phong^b

^a*Viện Nghiên cứu Tính toán Kỹ thuật Duy Tân (DTRICE), Đại học Duy Tân, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

^a*Duy Tan Research Institute for Computational Engineering (DTRICE), Duy Tan University, Ho Chi Minh City, 700000, Viet Nam*

^b*Khoa Cơ khí, Trường Công nghệ và Kỹ thuật, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

^b*Faculty of Mechanical, School of Engineering and Technology, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Viet Nam*

(Ngày nhận bài: 21/03/2025, ngày phản biện xong: 02/04/2025, ngày chấp nhận đăng: 06/05/2025)

Tóm tắt

Nghiên cứu này phát triển một chương trình tính toán và xây dựng các đồ thị động học, động lực học của động cơ đốt trong bốn kỳ kiểu pittông (xăng và diesel). Chương trình được thiết kế nhằm hỗ trợ và rút ngắn thời gian trong quá trình tính toán, thiết kế và khảo sát động cơ đốt trong, đồng thời nâng cao hiệu quả giảng dạy các môn học liên quan. Với mục tiêu đó, các phương trình giải tích mô tả toàn bộ đặc tính động lực học của động cơ được hệ thống hóa, sau đó một chương trình máy tính dựa trên ngôn ngữ lập trình Matlab/Octave được phát triển để tính toán và thiết lập các đồ thị động lực học. Kết quả thu được từ chương trình được so sánh với lời giải theo phương pháp truyền thống (giải tích kết hợp đồ thị), qua đó chứng minh tính chính xác và hiệu quả của chương trình đã phát triển.

Từ khóa: Động cơ đốt trong; đặc tính động lực học; Matlab/Octave; phần mềm giảng dạy.

Abstract

This study develops a computer program for calculating and constructing dynamic characteristics of four-stroke internal combustion engines with piston mechanisms (gasoline and diesel). The program is designed to support and reduce the time required for engine calculations, design, and analysis while also enhancing the effectiveness of teaching related courses. To achieve this goal, analytical equations describing the complete dynamic characteristics of the engine are systematically formulated. Subsequently, a computer program based on Matlab/Octave is developed to perform calculations and generate dynamic characteristics. The results obtained from the program are compared with the solutions from the traditional method (analytical solutions combined with graphical methods), thereby demonstrating the accuracy and efficiency of the developed program.

Keywords: Internal combustion engines; dynamic characteristics; Matlab/Octave; teaching software.

*Tác giả liên hệ: Trần Thanh Hùng
Email: tranthanhhung5@duytan.edu.vn

1. Mở đầu

Động cơ đốt trong nói chung và động cơ đốt trong kiểu pittông 4 kỳ nói riêng đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong đời sống, công nghiệp và quốc phòng. Việc hiểu và tối ưu hóa hiệu suất của động cơ đòi hỏi một quá trình tính toán và phân tích phức tạp, bao gồm nhiều tham số động lực học quan trọng như áp suất khí thể, vận tốc, gia tốc, các lực và mô-men xoắn tác dụng lên cụm cơ cấu pittông, thanh truyền và trục khuỷu [1]. Các phương pháp truyền thống dựa trên giải tích kết hợp đồ thị tuy mang lại kết quả chính xác trong việc tính toán các tính năng động lực học của động cơ, nhưng chúng mất nhiều thời gian và công sức. Hơn nữa, chúng khó áp dụng linh hoạt khi các điều kiện đầu vào thay đổi.

Hiện nay, sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin và khả năng tính toán của máy tính hiện đại đã giúp việc thiết kế máy nói chung và động cơ đốt trong nói riêng trở nên hiệu quả hơn nhờ các công cụ tính toán, thiết kế và mô phỏng chuyên dụng [2, 3]. Nghiên cứu này nhằm xây dựng và phát triển một chương trình máy tính chuyên dụng để tính toán và xác định các đặc tính động lực học của động cơ đốt trong kiểu pittông 4 kỳ, qua đó rút ngắn thời gian thiết kế và phân tích loại động cơ này. Đặc biệt, chương trình được phát triển nhằm hỗ trợ giảng dạy các môn học liên quan đến động lực học động cơ đốt trong tại Đại học Duy Tân và các cơ sở đào tạo có giảng dạy về lĩnh vực này. Bài báo trình bày một chương trình tính toán động lực học cho động cơ pittông 4 kỳ, được phát triển trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Octave/Matlab [4, 5, 6]. Chương trình được thiết kế để mô tả toàn bộ các phương trình thể hiện tính năng động lực học của động cơ 4 kỳ, bao gồm cả động cơ diesel và động cơ xăng. Nội dung nghiên cứu bao gồm việc hệ thống hóa các phương trình giải tích, xây dựng thuật toán tính toán và triển khai chương trình trên máy tính.

Kết quả từ chương trình máy tính được kiểm nghiệm và so sánh với phương pháp truyền

thống, qua đó chứng minh được độ chính xác và tính hiệu quả của chương trình đã phát triển. Nghiên cứu này không chỉ đóng góp về mặt lý thuyết mô hình hóa các tính năng động lực học của động cơ đốt trong mà còn có ý nghĩa thực tiễn cao, mở ra nhiều hướng phát triển mới trong lĩnh vực cơ khí động lực. Hơn nữa, chương trình máy tính còn có thể phục vụ cho công tác giảng dạy và đào tạo tại các cơ sở giảng dạy về động cơ đốt trong.

2. Cơ sở lý thuyết

Cơ sở lý thuyết trong quá trình xây dựng toàn bộ 12 đồ thị động lực học của động cơ, gồm các đồ thị: công, chuyển vị, vận tốc, gia tốc, lực quán tính, lực khai triển, $T-N-Z$ (lực tiếp tuyến – lực ngang – lực pháp tuyến), ΣT (tổng lực tiếp tuyến), phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu, phụ tải tác dụng lên đầu to thanh truyền, khai triển phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu và mài mòn. Trong nghiên cứu này, cả động cơ diesel và động cơ xăng (4 kỳ, không giới hạn số lượng xy-lanh) đều được xem xét.

2.1. Đồ thị công

2.1.1. Đường nén

Gọi p_{nx} , V_{nx} là áp suất và thể tích biến thiên theo quá trình nén của động cơ. Vì quá trình nén của động cơ là quá trình nén đa biến nên ta có:

$$p_{nx} V_{nx}^{n_1} = p_c V_c^{n_1} \Leftrightarrow p_{nx} = p_c \left(\frac{V_c}{V_{nx}} \right)^{n_1} = \frac{p_c}{i^{n_1}},$$

với $i = \frac{V_{nx}}{V_c}$, (1)

trong đó: p_c – áp suất (môi chất trong xy lanh) cuối quá trình nén [MPa];

V_c – thể tích buồng cháy [dm^3];

n_1 – chỉ số nén đa biến trung bình.

Giá trị của i biến thiên từ 1 đến ε . Trong chương trình Matlab, vector chứa các điểm i (gọi là vector `ivec`) được khởi tạo theo cú pháp “`ivec = unique(A)`”, $A = [1:0.1:\varepsilon, \varepsilon, \rho]$, với: bước chia là 0.1, ε – tỉ số nén và ρ – chỉ số giãn nở sớm.

Hàm unique(A) sẽ đảm bảo không có giá trị lặp lại trong vector ivec và vector ivec được sắp xếp theo thứ tự tăng dần từ 1 đến ε .

2.1.2. Đường giãn nở

Gọi p_{gnx} , V_{gnx} là áp suất và thể tích biến thiên theo quá trình giãn nở của động cơ. Vì quá trình giãn nở là quá trình đa biến, nên ta có:

$$p_{gnx} V_{gnx}^{n_2} = p_z V_z^{n_2} \Leftrightarrow p_{gnx} = p_z \left(\frac{V_z}{V_{nx}} \right)^{n_2}, \quad (2)$$

trong đó: p_z – áp suất cực đại [MPa];

V_z – thể tích xy lanh ứng với áp suất cực đại [dm^3];

n_2 – chỉ số giãn nở đa biến trung bình.

Ta có: $V_z = \rho V_c$, suy ra:

$$p_{gnx} = p_z \left(\frac{V_z}{V_{nx}} \right)^{n_2} = p_z \left(\frac{\rho V_c}{V_{nx}} \right)^{n_2} = \frac{p_z \rho^{n_2}}{i^{n_2}}. \quad (3)$$

2.1.3. Đường thải và đường nạp

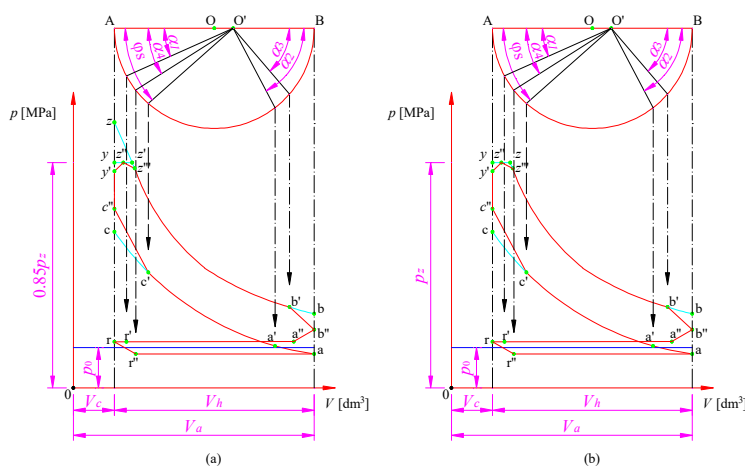
Đường thải và đường nạp được giả thuyết có quy luật đơn giản hơn đường nén và đường giãn nở. Chúng là những đường thẳng song song với trục hoành. Đường nạp đi qua điểm a (V_a , p_a), trong khi đường thải đi qua điểm r (V_c , p_r),

trong đó: p_a – áp suất cuối quá trình nạp [MPa]; p_r – áp suất khí sót [MPa]; V_a – thể tích toàn phần.

2.1.4. Hiệu chỉnh đồ thị công

Để tiến hành hiệu chỉnh đồ thị công, ta cần xác định: Các điểm đặc biệt: r (V_c , p_r), a (V_a , p_a), b (V_b , p_b) (với: p_b – áp suất cuối quá trình giãn nở [MPa]), c (V_c , p_c), z (V_c , p_z) (động cơ xăng) hoặc z (ρV_c , p_z) (động cơ diesel), b'': là trung điểm của ab, y (V_c , $0.85p_z$) (động cơ xăng) hoặc y (V_c , p_z) (động cơ diesel), z' (chỉ có đối với động cơ xăng): là giao điểm của đường song song với trục OV và đường giãn nở, cc'' = cy/3, và z'': là trung điểm của yz' (động cơ xăng) của yz (động cơ diesel). Các điểm: r', a', b', r'', và c' được xác định từ các góc α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , và φ_s (với: α_1/α_2 – góc mở sớm/đóng muộn xu-páp nạp [$^\circ$]; α_3/α_4 – góc mở sớm/đóng muộn xu-páp thải [$^\circ$]; φ_s – góc đánh lửa (động cơ xăng)/phun (động cơ diesel) sớm [$^\circ$]). Các điểm y', z'', a'' được xấp xỉ trong chương trình máy như sau: y' (V_c , $0.99p_y$), z'' ($V_{z''}$, $0.99p_z$) và a'' ($0.99V_a$, p_a). Trong đó: $V_{z''}$ được xác định qua công thức (3) ứng với $p_{z''} = 0.99p_z$.

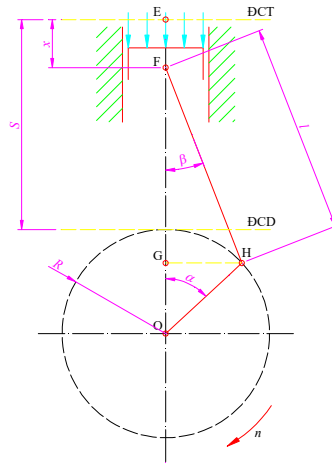
Đồ thị công của động cơ xăng và động cơ diesel được cho như hình vẽ minh họa (Hình 1).



Hình 1. Đồ thị công của động cơ xăng (a) và động cơ diesel (b).

(Ghi chú: p – áp suất môi chất trong xy lanh [MPa]; p_0 – áp suất khí trời [MPa]; V – thể tích xy lanh [dm^3]; V_h – thể tích công tác [dm^3])

2.2. Đồ thị chuyển vị, vận tốc, gia tốc và lực quán tính của pittông



Hình 2. Sơ đồ chuyển vị của pittông
(Ghi chú: ĐCT – điểm chết trên; ĐCD – điểm chết dưới)

Chuyển vị (x [m]): Từ Hình 2, chuyển vị x của pittông được tính như sau:

$$x = EF = EO - (FG + GO) = (l + R) - [l \cos(\beta) + R \cos(\alpha)], \quad (4)$$

trong đó: R – bán kính quay trục khuỷu [m],
 $R = S/2$ với S – hành trình pittông [m];

l – chiều dài thanh truyền [m];

α – góc quay trục khuỷu [°];

β – góc lệch giữa tâm thanh truyền và đường tâm xy-lanh [°].

Với tham số kết cấu $\lambda = R/l$ và khai triển nhị thức Niuton, công thức (4) được viết lại:

$$x \approx R \left[\{1 - \cos(\alpha)\} + \frac{\lambda}{4} \{1 - \cos(2\alpha)\} \right]. \quad (5)$$

Vận tốc (v [m/s]): Đạo hàm của x được cho trong công thức (5) theo thời gian, ta được:

$$v = \frac{dx}{dt} = R\omega \left[\sin(\alpha) + \frac{\lambda}{2} \sin(2\alpha) \right], \quad (6)$$

trong đó: ω – vận tốc góc trục khuỷu [rad/s],
 $\omega = \pi n/30$, với: n – tốc độ quay của trục khuỷu [vòng/phút].

Gia tốc (j [m/s²]): Đạo hàm của v được cho trong công thức (6) theo thời gian, ta được:

$$j = \frac{dv}{dt} = R\omega^2 [\cos(\alpha) + \lambda \cos(2\alpha)]. \quad (7)$$

Lực quán tính trên đơn vị diện tích đỉnh pittông (p_j [MPa]): Lực quán tính: $p_j = -m_j j$, với:

$$m_j = \frac{m_{pt} + m_1}{F_{pis}}, \quad (8)$$

trong đó: m_{pt} – khối lượng nhóm pittông [kg];

m_1 – khối lượng thanh truyền quy về đầu nhỏ [kg];

F_{pis} – diện tích đỉnh pittông [m²], $F_{pis} = \pi D^2/4$, với D – đường kính xy-lanh.

2.3. Đồ thị khai triển: p , p_j , $p_1 - \alpha$

Áp suất khí thể p được tính toán theo sự biến thiên của thể tích xy-lanh. Việc khai triển p theo α được thực hiện như sau: với giá trị α bất kỳ, thể tích tương ứng của xy-lanh sẽ được xác định. Sau đó, từ giá trị của thể tích, giá trị của p sẽ được nội suy tương ứng. Đối với lực p_j : vì p_j là hàm số của α nên ta không cần thực hiện thêm việc khai triển. Sau đó, tổng lực trên đơn vị diện tích đỉnh pittông p_1 theo α được xác định như sau:

$$p_1 = (p - p_0) + (p_j). \quad (9)$$

2.4. Đồ thị: $T, N, Z-\alpha$

Từ Hình 3a, ta phân tích lực p_1 thành lực dọc thanh truyền p_{tt} và lực ngang N như sau:

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_{tt} + \vec{N}. \quad (10)$$

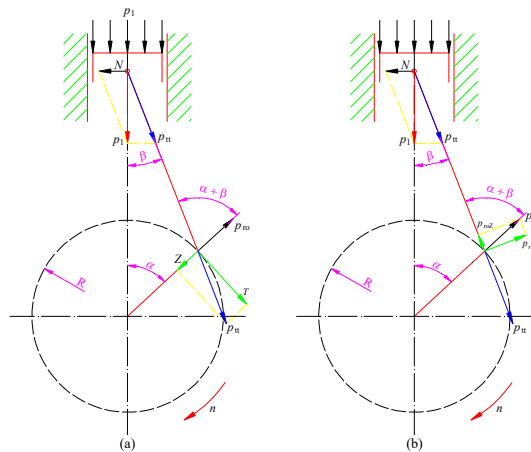
Từ quan hệ lượng giác, ta có thể xác định được trị số của p_{tt} và N như sau:

$$p_{tt} = \frac{p_1}{\cos(\beta)}, \quad N = p_1 \tan(\beta),$$

với $\beta = \arcsin(\lambda \sin(\alpha))$. (11)

Từ Hình 3a, lực p_{tt} được phân tích thành lực tiếp tuyến T và lực pháp tuyến Z như sau:

$$T = p_{tt} \sin(\alpha + \beta), \quad Z = p_{tt} \cos(\alpha + \beta). \quad (12)$$



Hình 3. Sơ đồ lực tác dụng lên chốt khuỷu (a) và đầu to thanh truyền (b)

2.5. Đồ thị $\Sigma T - \alpha$

Góc lệch công tác của động cơ 4 kỳ được tính như sau:

$$\delta_{ct} = 720/i, \quad (13)$$

trong đó: i – số xilanh.

Sau khi có δ_{ct} , ta xác định lực T_i do xy-lanh thứ i -th tạo ra. Sau đó, ta tiến hành xác định lực ΣT . Theo lý thuyết, ta cần sắp xếp các thành phần $T_1, T_2, \dots, T_i$ theo đúng thứ tự nổ của động cơ để tính toán ΣT . Nhưng vì tính chất giao hoán của phép cộng, nên khi tính ΣT , ta chỉ cần chia dãy giá trị của lực T ($\alpha = 0 \div 720^\circ$) thành các phần ứng theo góc lệch công tác của động cơ, rồi cộng hàng theo hàng.

2.6. Đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu

Xét một điểm trên bề mặt của chốt khuỷu, tổng lực tác dụng lên điểm này là:

$$\vec{Q} = \vec{Z} + \vec{T} + \vec{p}_{ro}. \quad (14)$$

trong đó: p_{ro} – lực quán tính ly tâm của đầu to thanh truyền trên đơn vị F_{pis} [MPa].

p_{ro} được xác định như sau:

$$p_{ro} = \frac{m_2}{F_{pis}} R \omega^2 \times 10^{-6}, \quad (15)$$

trong đó: m_2 – khối lượng thanh truyền quy về đầu to [kg].

Chú ý: Đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu có hệ trục tọa độ OTZ, trục OZ có chiều dương hướng xuống dưới. Để xét đến p_{ro} , ta dời O theo chiều dương của trục OZ một đoạn p_{ro} đến gốc tọa độ mới O_c .

2.7. Đồ thị phụ tải tác dụng lên đầu to thanh truyền

Từ Hình 3b, lực p_{ro} được phân tích thành lực vuông góc p_{roT} và dọc p_{roZ} với tâm thanh truyền như sau:

$$p_{roT} = p_{ro} \sin(\alpha + \beta),$$

$$p_{roZ} = p_{ro} \cos(\alpha + \beta). \quad (16)$$

Chú ý: Đồ thị phụ tải tác dụng lên đầu to thanh truyền được vẽ với chiều dương của trục tung là chiều hướng xuống, trục tung thể hiện giá trị $p_{tt} - p_{roZ}$ và trục hoành thể hiện giá trị p_{roT} .

2.8. Đồ thị khai triển phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu $Q(\alpha)$

Lực $Q(\alpha)$ được xác định thông qua công thức tổng hợp lực như sau:

$$Q(\alpha) = \sqrt{T^2(\alpha) + \{Z(\alpha) - p_{ro}(\alpha)\}^2}. \quad (17)$$

2.9. Đồ thị mài mòn chốt khuỷu

Trên đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu ta vẽ vòng tròn tâm O_c , bán kính bất kì. Chia vòng tròn này thành 24 phần bằng nhau. Theo chiều ngược chiều kim đồng hồ, bắt đầu tại điểm 0 là giao điểm của vòng tròn O_c với trục O_cZ (theo chiều dương), tiếp tục đánh số thứ tự 1, 2, ..., 23 lên vòng tròn.

Từ các điểm chia 0, 1, 2, ..., 23 của vòng tròn O_c , ta kẻ các tia qua tâm O_c và kéo dài, các tia này sẽ cắt đồ thị phụ tải tại nhiều điểm, có bao nhiêu điểm cắt đồ thị thì sẽ có bấy nhiêu lực tác dụng tại điểm chia đó. Ta có:

$$\sum Q'_j = Q'_{j0} + Q'_{j1} + \dots + Q'_{jk}, \quad (18)$$

trong đó: j – Điểm chia bất kỳ thứ j ($j = 0 \div 23$),

k – Số giao điểm giao nhau của tia chia với đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt.

Tính $\sum Q'_i$ của các lực tác dụng trên các điểm 0, 1, ..., 23. Rồi ghi trị số của các lực ấy trong phạm vi tác dụng giả thiết là 120^0 . Tạo bảng ghi kết quả, sau đó ta cộng theo dòng:

$$Q'_{\sum j} = \sum Q'_0 + \sum Q'_1 + \dots + \sum Q'_{23} \quad (19)$$

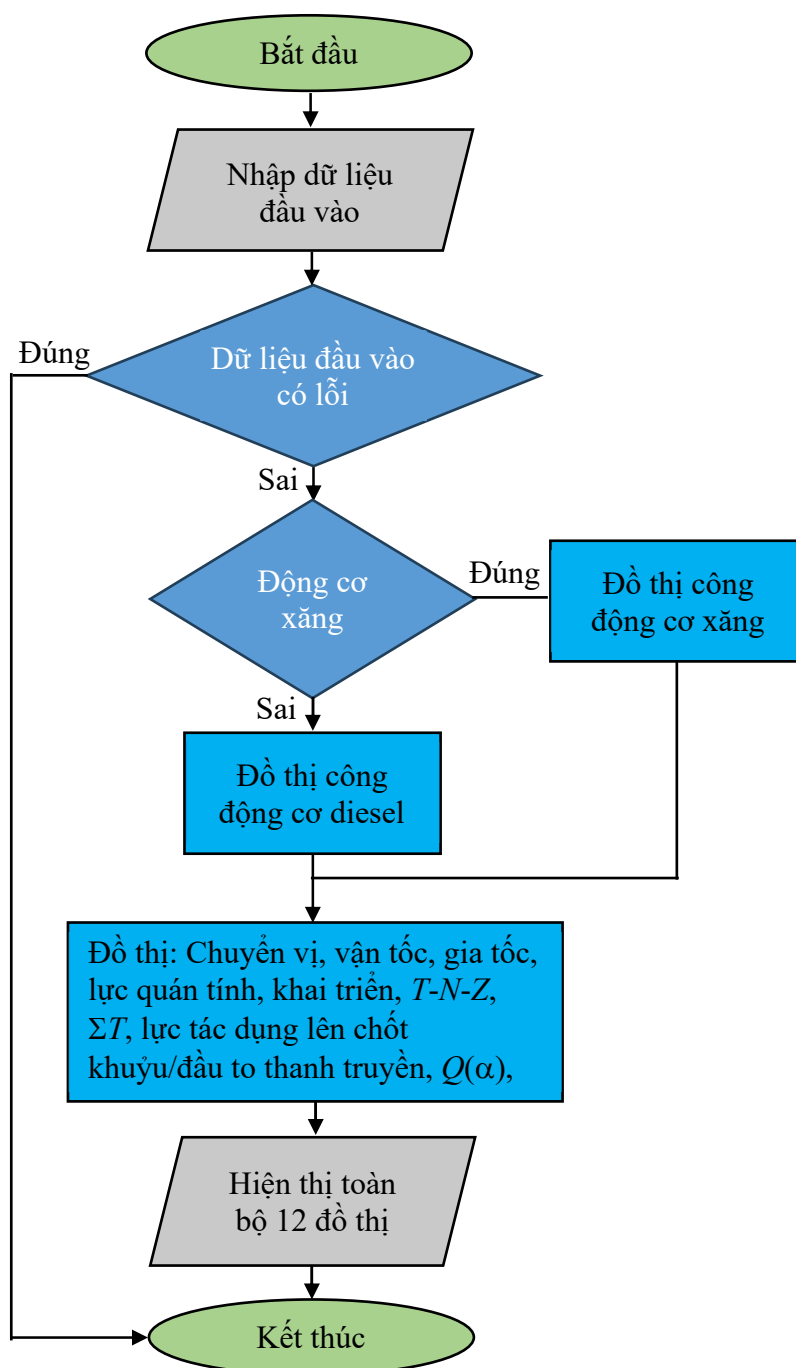
Chú ý: Để thuận tiện cho việc in ấn, sử dụng kết quả cũng như so sánh đối chiếu với phương pháp thủ công, các đồ thị sẽ được chuyển về giá trị biểu diễn theo công thức liên hệ sau:

$$\text{Tỉ lệ xích} = \frac{\text{Giá trị thực [đơn vị vật lý]}}{\text{Giá trị biểu diễn [mm]}}. \quad (20)$$

Ví dụ, với đại lượng $(*)$ có giá trị thực là $(***)$, $\mu_{(*)} = \frac{(***)}{(*)_{bd}}$. Tỉ lệ xích cần được chọn một cách hợp lý, để việc bố trí, kiểm tra và sử dụng bản vẽ được thuận tiện nhất.

3. Thuật toán

Sơ đồ thuật toán để xây dựng chương trình máy tính được trình bày trong Hình 4. Đầu tiên, nhập dữ liệu đầu vào. Sau đó, chương trình thực hiện kiểm tra thông tin đầu vào. Nếu phát hiện lỗi, chương trình sẽ báo và kết thúc. Nếu không, chương trình sẽ tính toán đồ thị công dựa trên loại động cơ, sau đó tiếp tục tính toán các đồ thị động lực học còn lại. Cuối cùng, toàn bộ 12 đồ thị động lực học của động cơ sẽ được vẽ, hiển thị trên màn hình và lưu về máy. Sau khi hoàn tất, chương trình kết thúc. Trong nghiên cứu này, thuật toán (Hình 4) được kết hợp với các công thức toán học từ phần cơ sở lý thuyết và triển khai trong môi trường MATLAB/OCTAVE để xây dựng chương trình tính toán.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán

4. Kết quả và thảo luận

Chương trình máy tính được phát triển cho động cơ 4 kỳ sử dụng nhiên liệu xăng và diesel. Tuy nhiên, để ngăn ngừa trong việc trình bày, kết quả tính toán của động cơ xăng đại diện

(động cơ xăng V6, không tăng áp) sẽ được trình bày. Bảng thông số đầu vào và thông số tính/chọn để tính toán các đồ thị động lực học của động cơ [1, 7] được cho trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Thông số đầu vào cơ bản của động cơ xăng V6

Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
i	6	-	m_{pt}	0.45	kg
ε	9.8	-	m_{tt}	0.61	kg
D	94	mm	φ_s	12	°
S	82.5	mm	α_1	9	°
n	4950	vòng/phút	α_2	43	°
λ	0.24	-	α_3	51	°
p_z	4.5	MPa	α_4	6	°

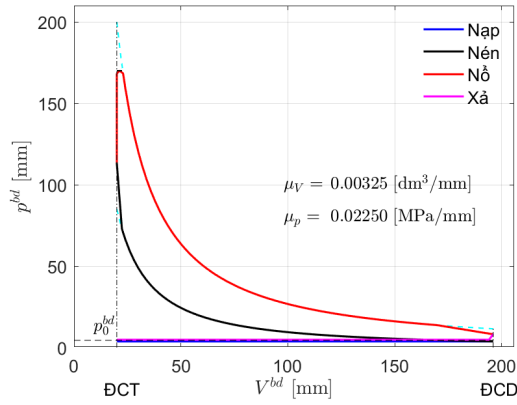
Bảng 2. Các thông số tính/chọn cơ bản của động cơ xăng V6

Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
n_1	1.365	[-]	ω	518.363	[rad/s]
n_2	1.250	[-]	m_1	0.195	[kg]
ρ	1.000	[-]	m_2	0.415	[kg]
p_0	0.100	[MPa]	μ_V	0.003	[lít/mm]
p_a	0.085	[MPa]	μ_p	0.023	[MPa/mm]
p_b	0.260	[MPa]	μ_α	2.000	[°/mm]
p_c	1.916	[MPa]	μ_x	0.000469	[m/mm]
p_r	0.108	[MPa]	μ_v	0.243	[m/s/mm]
V_h	0.573	[dm ³]	μ_t	171.80	[m/s ² /mm]
V_c	0.065	[dm ³]	$\mu_{Q'_{\Sigma j}}$	2.430	[MPa/mm]

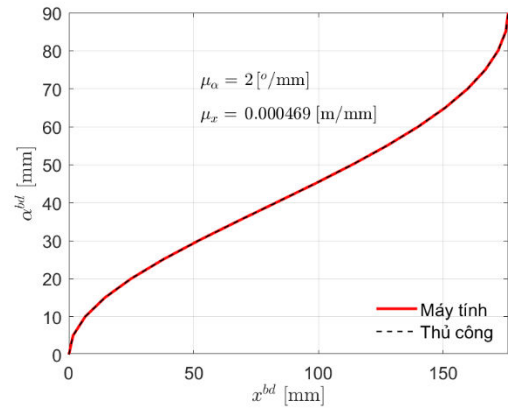
Kết quả từ chương trình máy tính (được gọi là “máy tính”) cho tất cả 12 đồ thị động lực học của động cơ cần khảo sát được trình bày trong Hình 5 đến Hình 16. Kết quả thu được từ phương pháp thủ công cổ điển (được gọi là “thủ công”) được thêm vào các hình tương ứng (Hình 6 đến Hình 16) để so sánh đối chiếu. Kết quả so sánh cho thấy chương trình máy tính có độ chính xác cao, với lời giải thu được tương đồng và phù hợp với phương pháp thủ công. Một số khác biệt nhỏ giữa hai phương pháp chủ yếu xuất phát từ việc hiệu chỉnh đồ thị công và xấp xỉ quy luật đồ thị. Trong nghiên cứu này, các đồ thị được xấp xỉ theo quy luật tuyến tính, trong khi phương pháp truyền thống thường sử dụng các đường cong dạng spline. Sai số tương đối giữa hai phương pháp cho từng kết quả tính toán được thể hiện

trong Bảng 3. Kết quả cho thấy sai số tương đối lớn nhất là $0.593\% < 1\%$, một giá trị nhỏ và chấp nhận được trong thực tế.

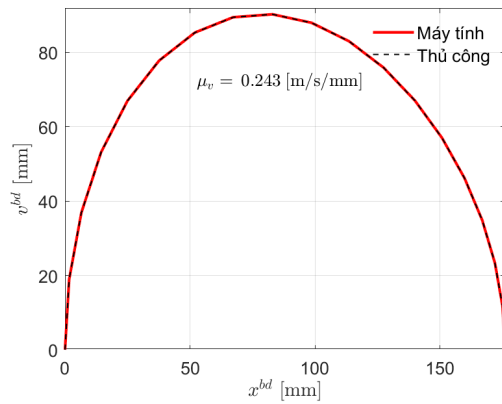
Tuy nhiên, về tốc độ và hiệu suất tính toán, chương trình máy tính vượt trội hơn hẳn. Cụ thể, chương trình chỉ mất trung bình 3.95 giây để hoàn thành toàn bộ quá trình tính toán, bao gồm đọc dữ liệu, kiểm tra dữ liệu, tính toán và vẽ đồ thị. Chương trình được lập trình bằng MATLAB và chạy trên laptop sử dụng vi xử lý Intel Core i7-1360P (2.61 GHz, 16 GB RAM). Kết quả thời gian tính toán là giá trị trung bình của 10 lần chạy. Trong khi đó, phương pháp thủ công có thể mất hàng giờ hoặc thậm chí nhiều ngày, tùy thuộc vào kinh nghiệm, kiến thức và kỹ năng của người thực hiện.



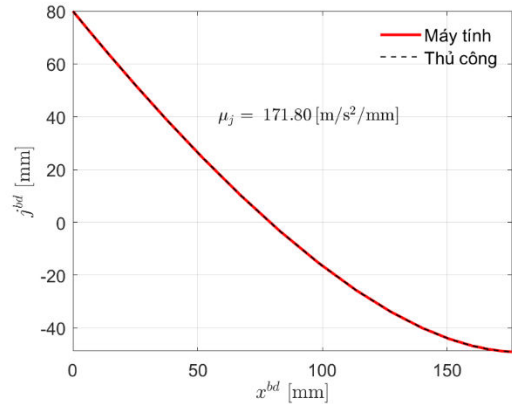
Hình 5. Đồ thị công



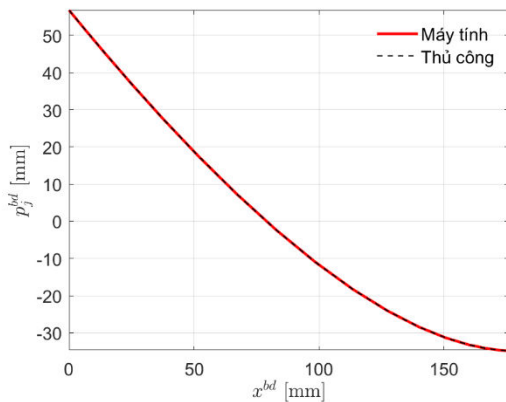
Hình 6. Đồ thị chuyển vị



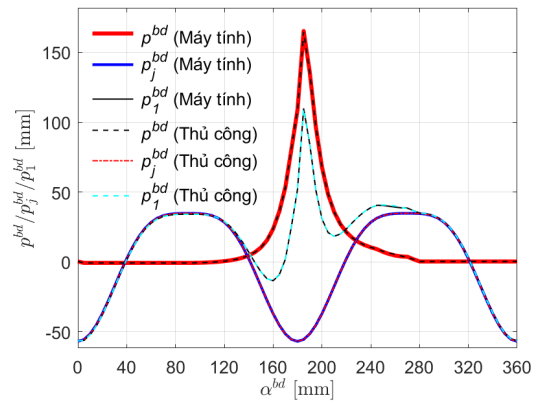
Hình 7. Đồ thị vận tốc



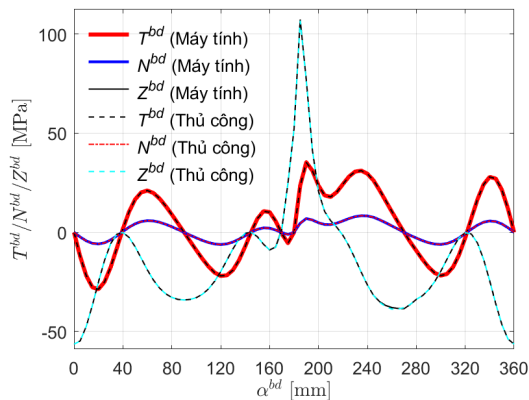
Hình 8. Đồ thị gia tốc



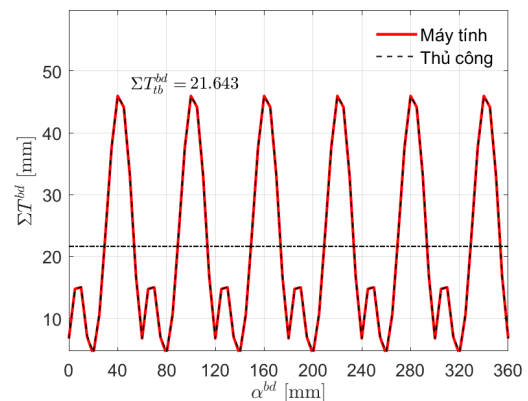
Hình 9. Đồ thị lực quán tính



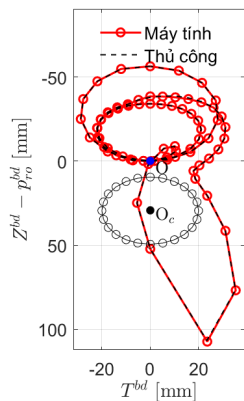
Hình 10. Đồ thị khai triển p, p_j, p_l theo α



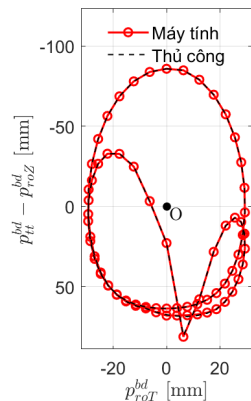
Hình 11. Đồ thị lực T-N-Z



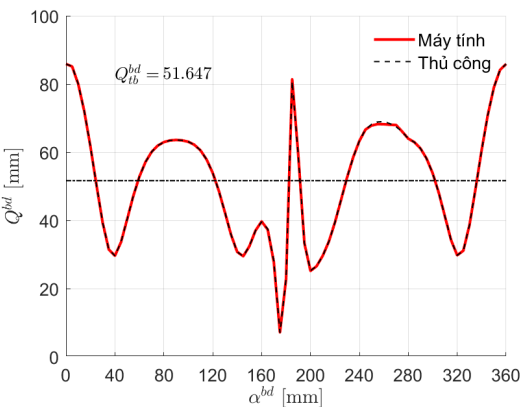
Hình 12. Đồ thị tổng T



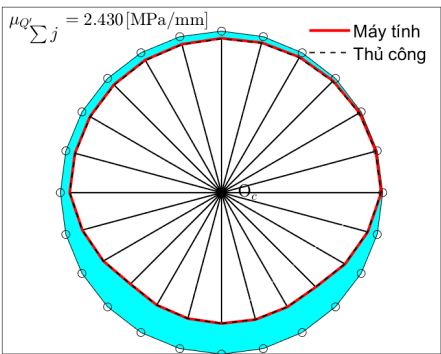
Hình 13. Đồ thị lực phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu



Hình 14. Đồ thị lực phụ tải tác dụng lên đầu to thanh truyền



Hình 15. Đồ thị khai triển $Q(\alpha)$



Hình 16. Đồ thị mài mòn

Chú ý: Tất cả các giá trị trên trục hoành và trục tung của 12 đồ thị đều là giá trị vẽ, tức là theo đơn vị milimét [mm]. Giá trị thực sẽ bằng giá trị biểu diễn nhân với tỉ lệ xích tương ứng. Tỉ lệ xích của α là 2 [°/mm], tỉ lệ xích của áp suất

và lực trên đơn vị diện tích đỉnh pittông trong Hình 9 đến Hình 15 được lấy bằng với μ_p . Trên Hình 12 và Hình 15, giá trị trung bình của ΣT và Q , lần lượt là ΣT_{tb}^{bd} và Q_{tb}^{bd} , từ chương trình máy được tính toán và thêm vào tương ứng.

Bảng 3. Sai số giữa chương trình máy và phương pháp vẽ thủ công (theo chuẩn L^2 tương đối, Relative Error)

Kết quả	x^{bd}	v^{bd}	j^{bd}	p_f^{bd}	p^{bd}	p_1^{bd}	T^{bd}
Sai số [%]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.516	0.504	0.341
Kết quả	N^{bd}	Z^{bd}	ΣT^{bd}	T_b^{bd}	Z_b^{bd}	Q^{bd}	Mài mòn ^{bd}
Sai số [%]	0.364	0.546	0.593	0.000	0.354	0.314	0.266

5. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày hệ thống các phương trình giải tích và thuật toán cho quá trình tính toán và thiết lập các đặc tính động lực học của động cơ. Các quy luật toán học và thuật toán

được ứng dụng trên ngôn ngữ lập trình MATLAB để xây dựng chương trình tính toán.

Chương trình tính toán cho kết quả rất sát với kết quả tính toán từ phương pháp thủ công cổ điển với sai số tương đối lớn nhất là 0.593%,

chứng minh được độ chính xác và tin cậy của chương trình máy tính. Bên cạnh đó, chương trình máy tính vượt trội về tốc độ và hiệu suất tính toán, chỉ mất vài giây (trung bình 3.95 giây) để hoàn thành việc xây dựng các đặc tính của động cơ trong khi phương pháp thủ công có thể mất hàng giờ hoặc nhiều ngày. Ngoài ra, chương trình có tính linh hoạt cao, có thể áp dụng cho nhiều loại động cơ khác nhau, trong khi phương pháp thủ công bị hạn chế khi xử lý dữ liệu phức tạp. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong thực tiễn, góp phần tiết kiệm thời gian và chi phí trong quá trình tính toán, thiết kế và khảo sát động cơ đốt trong. Thêm vào đó, kết quả từ bài báo với chương trình máy tính có thể hỗ trợ và nâng cao hiệu quả giảng dạy các môn học liên quan đến tính toán động lực học động cơ đốt trong tại Đại học Duy Tân nói riêng và các cơ sở giáo dục có giảng dạy về động cơ đốt trong nói chung. Định hướng sinh viên ứng dụng lập trình máy tính vào giải quyết các bài toán kỹ thuật.

Với các kết quả thu được, chương trình đã chứng minh được độ chính xác và tính hiệu quả. Tuy nhiên, vẫn còn một số hạn chế cần được khắc phục trong các hướng phát triển tiếp theo, chẳng hạn như các xấp xỉ tuyến tính khi hiệu

chỉnh đồ thị công, việc chưa thực hiện các tính toán nhiệt động học của động cơ, và chương trình chưa được phát triển cho động cơ hai kỳ.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Duy Tân trong đề tài mã số Đ24-25 CK1-1.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tiến, N.T. (2021). *Nguyên lý động cơ đốt trong*. Hà Nội: Nxb Giáo dục Việt Nam.
- [2] Dewesoft. (2025). *Combustion measurement – Internal combustion engine testing solutions* Truy cập 19/3/2025, từ <https://dewesoft.com/applications/combustion-analysis>
- [3] AVL. (2025). *Development of combustion engines through simulation*. Truy cập 19/3/2025, từ <https://www.avl.com/en-us/simulation-solutions/ice-simulation>
- [4] GNU Octave. (2025). *GNU Octave – Scientific programming language*. Truy cập 19/3/2025, từ <https://octave.org/>
- [5] MathWorks. (2025). *MATLAB*. Truy cập 19/3/2025, từ <https://matlab.mathworks.com/>
- [6] Hunt B.R., Lipsman R.L., Rosenberg J.M. (2014). *A Guide to MATLAB for Beginners and Experienced Users*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Tuấn, P.M. (2013). *Động cơ đốt trong*. Hà Nội: Nxb Khoa học và Kỹ thuật.