

CALCULATION OF PRINCIPAL STRUCTURAL PARAMETERS OF A PULSE JET ENGINE INTEGRATED IN MISSILE SYSTEMS

Pham Xuan Quyen

Military Technical Academy

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 15/7/2025 Revised: 26/11/2025 Published: 26/11/2025	This study addresses the question of how to determine the principal structural parameters of pulsejet engines integrated into guided missile systems, given the current lack of comprehensive domestic research on this topic. The objective of the work is to develop an analytical model capable of providing reliable estimations of key structural characteristics to support the design and manufacturing of new-generation guided rocket munitions. An analytical method was employed to formulate the model based on predefined tactical and technical requirements, including thrust, operating time, chamber pressure, propellant mass, combustion chamber configuration, and nozzle geometry. Using these inputs, the structural parameters of the pulsejet engine were calculated and subsequently compared with publicly available technical data for the pulsejet engine used on the ERINT missile. The findings demonstrate a high level of consistency between the calculated results and reference data, with only minor deviations observed in total impulse, geometric dimensions, propellant mass, and maximum chamber pressure. The results confirm that the proposed model provides a practical and reliable tool for early-stage structural estimation of pulsejet engines. The study concludes that the developed model can be effectively applied in the preliminary design and modernization of guided rocket systems currently in operational use.
KEYWORDS Microwave rocket Rocket engine Specific impulse Missile control Missile guidance	

TÍNH TOÁN MỘT SỐ THAM SỐ KẾT CẤU CHỦ YẾU CỦA ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC XUNG TRONG ĐẠN TÊN LỬA

Phạm Xuân Quyền

Học viện Kỹ thuật Quân sự

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 15/7/2025 Ngày hoàn thiện: 26/11/2025 Ngày đăng: 26/11/2025	Bài báo tập trung giải quyết câu hỏi làm thế nào để xác định các tham số kết cấu chủ yếu của động cơ phản lực xung khí tích hợp trên đạn tên lửa có điều khiển, trong bối cảnh hiện chưa có công trình trong nước nghiên cứu toàn diện về vấn đề này. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng một mô hình tính toán có khả năng ước lượng đáng tin cậy các đặc trưng kết cấu của động cơ phản lực xung phục vụ thiết kế và chế tạo đạn tên lửa thế hệ mới. Nghiên cứu sử dụng phương pháp giải tích để xây dựng mô hình xác định các tham số kết cấu dựa trên các yêu cầu chiến thuật và kỹ thuật đầu vào, bao gồm lực đẩy, thời gian làm việc, áp suất buồng đốt, khối lượng nhiên liệu, cấu hình buồng đốt và loa phụt. Trên cơ sở đó, các thông số kết cấu được tính toán và so sánh với số liệu công bố của động cơ phản lực xung sử dụng trên tên lửa phòng không ERINT. Kết quả cho thấy độ phù hợp cao giữa mô hình và số liệu tham khảo, với sai lệch nhỏ trong các giá trị như xung lượng toàn phần, kích thước hình học, khối lượng nhiên liệu và áp suất lớn nhất trong buồng đốt. Kết luận cho thấy mô hình đề xuất có thể được sử dụng như một công cụ hiệu quả cho thiết kế sơ bộ và cải tiến các loại đạn phản lực có điều khiển trong trang bị.
TỪ KHÓA Micro động cơ xung Động cơ tên lửa Xung lực riêng Điều khiển đạn tên lửa Dẫn đường tên lửa	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13231>

Email: phamxuanquyen@mta.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

393

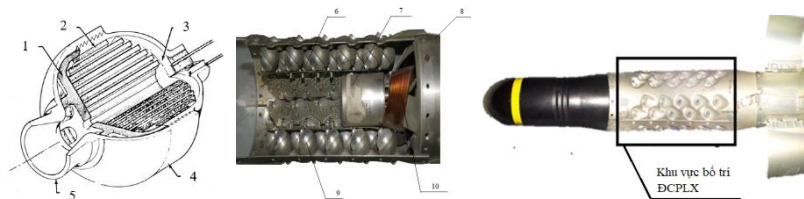
Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Hiện nay, phần lớn đạn phản lực có điều khiển (ĐPLCĐK) sử dụng cánh lái khí động để tạo mômen điều khiển, dựa vào sự chênh lệch áp suất khí động giữa hai mặt cánh. Tuy nhiên, phương pháp này tồn tại hạn chế khi yêu cầu tạo lực điều khiển trong thời gian ngắn hoặc trong điều kiện không khí loãng. Để khắc phục nhược điểm đó, một giải pháp được quan tâm là sử dụng động cơ phản lực xung (ĐCPLX) bố trí xung quanh thân đạn. Khi được kích hoạt, các ĐCPLX tạo ra luồng khí phụt có phản lực trực tiếp tác động lên thân đạn, sinh ra lực hoặc mômen quay đạn. Tuy nhiên, hiện nay trên thế giới, phần lớn các công trình mới chỉ dừng ở việc công bố hiệu suất của động cơ xung [1] – [3]. Tại công trình [4] – [6] công bố đặc tính làm việc và phương thức kiểm soát động cơ xung trong điều khiển ĐPLCĐK. Trong [7] có đưa ra một vài thông số nhưng không đưa ra công thức tính toán ra tham số đó. Các giáo trình tại Việt Nam chỉ dừng lại ở việc đưa ra một vài công thức để tính các tham số điển hình đối với động cơ tên lửa [8]. Tại Việt Nam, đến nay chưa có công trình khoa học nào công bố nghiên cứu chuyên sâu về các tham số kết cấu của động cơ xung, dẫn đến khoảng trống đáng kể trong hệ thống lý luận phục vụ phát triển vũ khí nội địa. Xuất phát từ thực tiễn đó, việc xây dựng cơ sở lý thuyết và mô hình tính toán các thông số kết cấu của ĐCPLX trong ĐPLCĐK là rất cần thiết, mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao, góp phần phục vụ hiệu quả cho công tác nghiên cứu, thiết kế và cải tiến các loại đạn phản lực có điều khiển trong trang bị.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên lý kết cấu của động cơ phản lực xung



Hình 1. ĐCPLX hình cầu: 1. Đế chắn thuốc; 2. Thuốc phóng; 3. Thuốc mồi; 4. Thân vỏ; 5. Loa phụt; 6. Mạch điện kích nổ từng ĐCPLX; 7. Khối nguồn; 8. Vỏ; 9. ĐCPLX; 10. Cáp điều khiển

Tương tự như các động cơ phản lực khác trên đạn, kết cấu của một ĐCPLX (Hình 1) thông thường có các bộ phận chính như sau: Buồng đốt, loa phụt với nút bịt loa phụt, thuốc phóng, thiết bị mồi, đế chắn thuốc.

2.2. Tính toán các thông số kết cấu của ĐCPLX

2.2.1. Các yêu cầu đối với ĐCPLX

ĐCPLX có yêu cầu cao về hoàn thiện các tỷ số khối lượng, tin cậy khi hoạt động, an toàn trong khai thác, sử dụng, các đặc trưng về lực đẩy, lực đẩy riêng, thời gian làm việc phải ổn định để đảm bảo đạt được yêu cầu điều khiển chính xác, tức thời.

Mức độ hoàn thiện về kết cấu của ĐCPLX được đặc trưng bởi hệ số khối lượng của ĐCPLX (α_{dc1}) (tỷ số giữa khối lượng của 1 ĐCPLX với xung lượng toàn phần của lực đẩy của nó). Biểu thức có dạng:

$$\alpha_{dc1} = \frac{m_{o1}}{\int_0^{\tau_1} P dt} \quad (1)$$

m_{o1} : là khối lượng tổng thể của 1 ĐCPLX [Kg]; P : Lực đẩy của 1 ĐCPLX tại thời điểm bất kỳ [kG]; τ_1 : Thời gian làm việc của động cơ [s]. Giá trị α_{dc1} càng nhỏ thì mức độ hoàn thiện về kết cấu của động cơ càng cao.

Ngoài ra, để đánh giá mức độ hoàn thiện kết cấu người ta còn sử dụng hệ số khối lượng kết cấu của 1 ĐCPLX, biểu thức có dạng:

$$\alpha_1 = \frac{m_{nl.1}}{m_{kc}} \quad (2)$$

Giá trị hệ số khối lượng kết cấu đối với động cơ thường khác nằm trong khoảng từ 2÷0,3.

2.2.2. Lựa chọn các tham số theo yêu cầu chiến kỹ thuật

a. Quy luật thay đổi của lực đẩy

Lực đẩy gần như không thay đổi trong thời kỳ làm việc ổn định của động cơ, giá trị trung bình: $P_1=220$ [kG].

b. Thời gian làm việc của động cơ: $\tau_1 = 23$ [ms].

c. Xung lượng riêng của lực đẩy

Xung lượng riêng của lực đẩy được dùng để đánh giá hiệu quả của nhiên liệu và mức độ hoàn thiện về kết cấu của động cơ.

Xung lượng riêng của lực đẩy phụ thuộc vào mức độ mở rộng của loa phụt $\left(f_{a.1} = \frac{d_{a.1}}{d_{th.1}}\right)$, bản chất của thuốc phóng, áp suất, nhiệt độ của sản phẩm cháy trong buồng đốt và nhiệt độ ban đầu của liều phóng. Động cơ tên lửa nhiên liệu rắn (ĐTR) nói chung, giá trị của $I_1=1800\div2400$ [Ns/Kg] [8].

d) Áp suất làm việc trung bình trong buồng đốt

Lưu ý khi lựa chọn áp suất làm việc trong buồng đốt cần phải lớn hơn ngưỡng của sự cháy không hoàn toàn (p_{gh}). Hiện nay, phần lớn các loại thuốc phóng dùng trong ĐTR có áp suất giới hạn $p_{gh}=1\div2$ [MPa] đối với thuốc phóng balistit và $p_{gh}=0.2\div0.5$ [MPa] đối với thuốc phóng hỗn hợp cơ học [8].

Thực tế, phần lớn các trường hợp nên chọn áp suất làm việc của sản phẩm cháy trong buồng đốt ĐTR nằm trong phạm vi $p_{bd.tb}=8\div15$ [MPa] để đảm bảo động cơ làm việc ổn định. Đối với các động cơ yêu cầu thời gian làm việc ngắn, tạo ra lực đẩy đủ lớn, ví dụ như ĐCPLX thời gian làm việc không quá vài chục mili-giây đồng thời cung cấp lực điều khiển đủ lớn để có thể đổi hướng được đạn, hoặc động cơ trên đạn chống tăng trang bị cho cá nhân bắn theo kiểu vác vai có thể chọn áp suất làm việc trong buồng đốt đến 60 Mpa hoặc lớn hơn [8].

2.2.3. Tính khối lượng nhiên liệu trong một ĐCPLX

Từ biểu thức xác định xung lượng riêng (xung lượng đơn vị của lực đẩy):

$$I_1 = \frac{\int_0^{\tau} P dt}{m_{nl.1}} \approx \frac{P_1 \cdot \tau}{m_{nl.1}} \quad (3)$$

Trong đó: I_1 - xung lượng riêng, $\left[\frac{N \cdot s}{kg}\right]$; $\int_0^{\tau} P dt$ - xung lượng toàn phần của lực đẩy, [N.s];

τ_1 - thời gian làm việc của động cơ, [s]; $m_{nl.1}$ - khối lượng nhiên liệu trong một ĐCPLX, [kg].

Từ đó xác định được biểu thức sau: $m_{nl.1} = \frac{P_1}{I_1} \cdot \tau$ (4)

Như vậy từ yêu cầu về lực đẩy, xung lượng riêng và thời gian làm việc của ĐCPLX, ta hoàn toàn có thể xác định sơ bộ khối lượng nhiên liệu $m_{nl.1}$.

2.2.4. Tính đường kính môi ĐCPLX

Đường kính trong của buồng đốt mỗi ĐCPLX ($d_{tr.1}$) có thể xác định được nếu như biết trước hệ số điền đầy thể tích buồng đốt (Δ) và khối lượng nhiên liệu của động cơ.

Gọi λ_1 là độ kéo dài buồng đốt, chiều dài buồng đốt quy đổi là:

$$L_{qd.1} = \lambda_1 \cdot d_{tr.1} \quad (5)$$

Khi đó, biểu thức xác định khối lượng nhiên liệu nhồi trong buồng đốt mỗi ĐCPLX là:

$$m_{nl.1} = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^2}{4} \cdot L_{qd.1} \cdot \Delta \cdot \rho_{nl} = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^3}{4} \cdot \lambda_1 \cdot \Delta \cdot \rho_{nl} \quad (6)$$

$$\text{Từ đó suy ra: } d_{tr.1} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot m_{nl.1}}{\pi \cdot \lambda_1 \cdot \Delta \cdot \rho_{nl}}} \quad (7)$$

Giá trị λ_1 và Δ của buồng đốt có thể cho trước theo phương pháp thống kê.

Lưu ý tới điều kiện bền của thành buồng đốt, nếu coi buồng đốt là ống mỏng, độ dày thân vỏ của ĐCPLX được tính theo công thức:

$$\delta_1 = \frac{p_{bd.max} \cdot d_{tr.1}}{2 \cdot \sigma_{gh.1}} \quad (8)$$

Trong đó: $p_{bd.max}$ - áp suất cực đại bên trong buồng đốt ĐCPLX; $\sigma_{gh.1}$ - độ bền giới hạn của vật liệu chế tạo thân vỏ ĐCPLX.

Áp suất cực đại bên trong buồng đốt ĐCPLX được tính theo biểu thức:

$$p_{bd.max} = k_{cn} \cdot k_t \cdot p_{bd.tb} \quad (9)$$

Trong đó: k_t - sai số nhiệt độ, phụ thuộc lớn vào nhiệt độ ban đầu của thuốc phóng; k_{cn} - sai số gia công công nghệ, $k_{cn} = 1, 2 \div 1, 4$.

Từ đó xác định được đường kính thân một ĐCPLX:

$$d_1 = d_{tr.1} + \delta_1 \quad (10)$$

2.2.5. Tính chiều dài buồng đốt mỗi động cơ phản lực xung

Thể tích buồng đốt của một ĐCPLX (W_1) được tính từ chiều dài buồng đốt quy đổi:

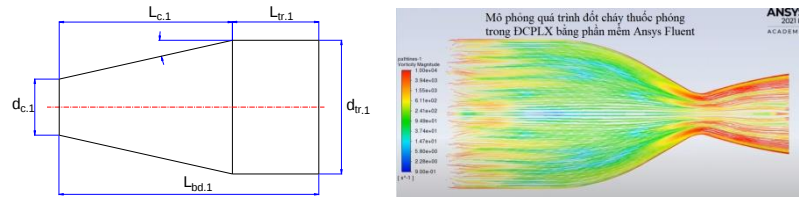
$$W_1 = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^2}{4} L_{qd.1} = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^3}{4} \cdot \lambda_1 \quad (11)$$

Buồng đốt thực tế của ĐCPLX được chia thành 2 phần, phần trụ có đường kính $d_{tr.1}$ và phần côn có góc côn γ (Hình 2). Gọi $L_{tr.1}$ và $L_{c.1}$ là chiều dài tương ứng của mỗi phần, khi đó thể tích của buồng đốt được tính theo công thức:

$$W_1 = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^2}{4} L_{tr.1} + \frac{1}{3} \pi \left(\frac{d_{tr.1}^2}{4} + \frac{d_{c.1}^2}{4} + \frac{d_{tr.1} d_{c.1}}{4} \right) L_{c.1} \quad (12)$$

Mối liên hệ giữa $d_{c.1}$ và $L_{c.1}$ thông qua góc côn γ :

$$d_{c.1} = d_{tr.1} - 2 \cdot L_{c.1} \cdot \tan \gamma \quad (13)$$



Hình 2. Tính chiều dài buồng đốt

Từ các biểu thức (12) và (13), khi đã có các tham số $\lambda_1, d_{tr.1}, \gamma$ và cho trước $L_{c.1} = \lambda_2 \cdot d_{tr.1}$ ta hoàn toàn có thể xác định được $L_{tr.1}$. Từ đó sơ bộ xác định được chiều dài buồng đốt:

$$L_{bd.1} = L_{tr.1} + L_{c.1} \quad (14)$$

2.2.6. Tính đường kính tiết diện tới hạn loa phụt

Ta có diện tích tới hạn của loa phụt được tính theo công thức:

$$F_{th.1} = 154 \cdot \frac{g \cdot m_{nl.1}}{p_{bd.tb} \cdot \tau_1} \quad (15)$$

Hoặc xuất phát từ công thức xác định lực đẩy P_1 [8]:

$$P_1 = 1,5 \cdot F_{th.1} \cdot p_{bd.tb} \quad (16)$$

Suy ra diện tích tới hạn của loa phụt:

$$F_{th.1} = \frac{P_1}{1,5 \cdot p_{bd.tb}} \quad (17)$$

Từ đó đường kính tới hạn loa phụt được xác định theo công thức:

$$d_{th.1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot F_{th.1}} \quad (18)$$

Trong đó: $p_{bd.tb}$ - áp suất trung bình bên trong buồng đốt ĐCPLX, [Pa]

2.2.7. Tính đường kính cửa ra loa phụt

Để tìm kích thước cửa ra loa phụt của một ĐCPLX, cần phải cho trước độ mở của loa phụt $f_{a.1}$. Khi đó ta có diện tích cửa ra loa phụt được xác định:

$$F_{a.1} = f_{a.1} \cdot F_{th.1} \quad (19)$$

Suy ra đường kính cửa ra loa phụt:

$$d_{a.1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot F_{a.1}} \quad (20)$$

2.2.8. Tính chiều dài loa phụt

- Chiều dài phần dưới âm l_1 được tính thông qua đường kính trong của buồng đốt và đường kính tiết diện tới hạn:

$$l_1 = \frac{d_{tr.1} - d_{th.1}}{2 \tan \beta} \quad (21)$$

Với: β là góc thu hẹp của phần dưới âm.

- Chiều dài phần vượt âm l_2 được tính thông qua đường kính tiết diện tới hạn và đường kính cửa ra loa phụt:

$$l_2 = \frac{d_{a.1} - d_{th.1}}{2 \tan \alpha} \quad (22)$$

Với: α là góc mở của phần vượt âm.

Từ các biểu thức (21) và (22) sơ bộ xác định được chiều dài loa phụt:

$$L_{lp.1} = l_1 + l_2 \quad (23)$$

2.2.9. Tính chiều dài thân mỗi động cơ phản lực xung

Sau khi xác định được chiều dài buồng đốt (14) và chiều dài loa phụt (23), sơ bộ xác định được chiều dài thân mỗi động cơ phản lực xung:

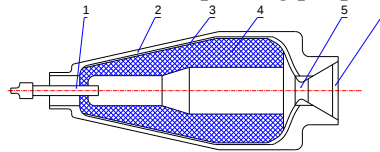
$$L_1 = L_{bd.1} + L_{lp.1} \quad (24)$$

2.2.10. Xung lượng toàn phần của lực đẩy của một ĐCPLX

$$I_n = \int_0^{\tau} P \cdot dt = I_1 \cdot m_{nl.1} \quad (25)$$

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Áp dụng cơ sở lý thuyết để tính toán cho micro động cơ xung của đạn tên lửa ERINT [7]. Các tham số đầu vào về lực đẩy trung bình, thời gian làm việc của động cơ, hệ số điện đầy thể tích buồng đốt, độ mở loa phụt được xác định trên cơ sở tham khảo các thông số kỹ thuật của ĐCPLX trên tên lửa ERINT (Hình 3). Các tham số còn lại được xác định trên cơ sở phân tích đặc điểm kết cấu của ĐCPLX hoặc có thể cho trước theo phương pháp thống kê.



Hình 3. ĐCPLX trên tên lửa ERINT: 1. Thiết bị môi; 2. Buồng đốt; 3. Lớp cách nhiệt; 4. Thuốc phóng; 5. Tiết diện tới hạn; 6. Nút bịt

Dựa vào các tham số đã lựa chọn và các công thức từ (1) đến (25) để tính toán các thông số của ĐCPLX và đánh giá kết quả.

Tham số đầu vào và kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Bảng tham số đầu vào của ĐCPLX trên tên lửa ERINT [7]

TT	Nội dung	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1.	Lực đẩy trung bình	P_1	220	(kG)
2.	Xung lượng riêng của lực đẩy	I_1	2370	(Ns / kg)
3.	Thời gian làm việc của động cơ	τ_1	23	(ms)
4.	Áp suất làm việc bên trong buồng đốt	$P_{bđ.tb}$	60	(Mpa)
5.	Độ kéo dài buồng đốt	λ_1	1,2	
6.	Hệ số tính chiều dài phần côn buồng đốt	λ_2	1,2	
7.	Góc côn buồng đốt	γ	13	(độ)
8.	Hệ số điện đầy thể tích buồng đốt	Δ	0,6	
9.	Khối lượng riêng thuốc phóng	p_1	1,6	(g / cm ³)
10.	Gia tốc trọng trường	g	10	(m / s ²)
11.	Độ mở loa phụt	$f_{\alpha.1}$	3,7	

TT	Nội dung	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
12.	Góc thu hẹp phần dưới âm	β	73	(độ)
13.	Góc mở phần vượt âm	α	30	(độ)
14.	Sai số nhiệt độ	k_t	1,2	
15.	Sai số gia công công nghệ	k_{cn}	1,4	
16.	Ứng suất giới hạn của buồng đốt (B95)	$\sigma_{gh.1}$	490	(Mpa)
17.	Khối lượng riêng vật liệu vỏ buồng đốt (B95)	ρ_1	2850	(Kg / m ³)

Bảng 2. Kết quả tính toán các thông số kết cấu cho ĐCPLX của tên lửa ERINT

TT	Nội dung	Công thức	Giá trị	Đơn vị
1.	Khối lượng nhiên liệu	$m_{nl.1} = \frac{P_1}{I_1} \cdot \tau_1$	21,35	(g)
2.	Đường kính trong buồng đốt	$d_{tr.1} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot m_{nl.1}}{\pi \cdot \lambda_1 \cdot \Delta \cdot \rho_{nl}}}$	28,7	(mm)
3.	Áp suất lớn nhất trong buồng đốt	$p_{bd.max} = k_{cn} \cdot k_t \cdot p_{bd.tb}$	100,8	(Mpa)
4.	Độ dày thân vỏ	$\delta_1 = \frac{p_{bd.max} \cdot d_{tr.1}}{2 \cdot \sigma_{gh.1}}$	3,0	(mm)
5.	Đường kính thân ĐCPLX	$d_1 = d_{tr.1} + 2\delta_1$	34,6	(mm)
6.	Thể tích buồng đốt	$W_1 = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^2}{4} L_{qd.1} = \frac{\pi \cdot d_{tr.1}^2}{4} \cdot \lambda_1$	22239,8	(mm ³)
7.	Chiều dài phần côn buồng đốt	$L_{c.1} = \lambda_2 \cdot d_{tr.1}$	34,5	(mm)
8.	Đường kính nhỏ phần côn	$d_{c.1} = d_{tr.1} - 2 \cdot L_{c.1} \cdot \tan \gamma$	12,8	(mm)
9.	Thể tích phần côn buồng đốt	$W_{c.1} = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{d_{tr.1}^2}{4} + \frac{d_{c.1}^2}{4} + \frac{d_{tr.1} \cdot d_{c.1}}{4} \right) L_{c.1}$	12197,1	(mm ³)
10.	Thể tích phần trụ buồng đốt	$W_{tr.1} = W_1 - W_{c.1}$	10042,7	(mm ³)
11.	Chiều dài phần trụ buồng đốt	$L_{tr.1} = \frac{4 \cdot W_{tr.1}}{\pi \cdot d_{tr.1}^2}$	15,5	(mm)
12.	Chiều dài buồng đốt	$L_{bd.1} = L_{tr.1} + L_{c.1}$	50,0	(mm)
13.	Diện tích tiết diện tới hạn	$F_{th.1} = \frac{P_1}{1,5 \cdot p_{bd.tb}}$	24,4	(mm ²)
14.	Đường kính tiết diện tới hạn	$d_{th.1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_{a.1} \cdot F_{th.1}}$	5,6	(mm)
15.	Đường kính cửa ra loa phụt	$d_{a.1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot F_{a.1}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot f_{a.1} \cdot F_{th.1}}$	20,6	(mm)
16.	Chiều dài phần dưới âm	$l_1 = \frac{d_{tr.1} - d_{th.1}}{2 \tan \beta}$	3,5	(mm)
17.	Chiều dài phần vượt âm	$l_2 = \frac{d_{a.1} - d_{th.1}}{2 \tan \alpha}$	13,1	(mm)

TT	Nội dung	Công thức	Giá trị	Đơn vị
18.	Chiều dài loa phụt	$L_{lp.1} = l_1 + l_2$	16,6	(mm)
19.	Chiều dài thân ĐCPLX	$L_1 = L_{bd.1} + L_{lp.1}$	66,6	(mm)
20.	Xung lượng toàn phần của lực đẩy	$I_n = \int_0^{\tau} P dt = I_1 \cdot m_{nl.1}$	5,060	(kG.s)

Bảng 3. Các thông số kỹ thuật thực tế của ĐCPLX trên tên lửa ERINT [7]

TT	Nội dung	Giá trị	Đơn vị
1.	Xung lượng toàn phần của lực đẩy	5,076	(kG.s)
2.	Trọng lượng nhiên liệu	21,4	(g)
3.	Chiều dài thân	65	(mm)
4.	Đường kính	35	(mm)
5.	Áp suất lớn nhất trong buồng đốt	100	(Mpa)
6.	Trọng lượng động cơ (không có nhiên liệu)	41	(g)

Kết quả tính toán nhận được tại Bảng 2 cho thấy mức độ tương đồng cao với các thông số chiến – kỹ thuật do nhà sản xuất công bố (Bảng 3). Độ sai lệch giữa các giá trị tính toán và giá trị tham khảo nằm trong giới hạn cho phép, cụ thể: Xung lượng toàn phần của lực đẩy: 0,3%; Khối lượng nhiên liệu: 0,2%; Chiều dài thân động cơ: 2,4%; Đường kính ngoài: 1,1%; Áp suất lớn nhất trong buồng cháy: 0,8%.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành phân tích đặc điểm kết cấu của ĐCPLX ứng dụng trên ĐPLCĐK, đồng thời chỉ ra các yếu tố cần lưu ý trong quá trình thiết kế ĐCPLX so với các loại động cơ khác như: động cơ phồng, động cơ tăng tốc, động cơ hành trình,... Trên cơ sở các yêu cầu chiến – kỹ thuật đầu vào, bài báo đã xây dựng mô hình tính toán các thông số kết cấu cơ bản của ĐCPLX, lựa chọn một trường hợp cụ thể để tiến hành tính toán thử nghiệm. Kết quả cho thấy mức độ phù hợp cao với số liệu thực tế. Khi áp dụng mô hình cho cấu hình ĐCPLX trên tên lửa ERINT, sai số giữa kết quả tính toán và thông số tham khảo nằm trong phạm vi cho phép. Kết quả đạt được có thể được sử dụng làm cơ sở lý thuyết cho việc tính toán kết cấu động cơ phản lực xung trong quá trình nghiên cứu, thiết kế và chế tạo các loại ĐPLCĐK thế hệ mới, cũng như phục vụ công tác cải tiến, hiện đại hóa các dòng đạn hiện có trong biên chế trang bị. Hơn thế nữa, kết quả nghiên cứu này mở ra hướng nghiên cứu tiếp theo như xây dựng mô hình phi tuyến, phi ổn định theo thời gian sử dụng phương pháp CFD hoặc mô hình hóa dao động bằng phương pháp Volterra hoặc Harmonic Balance nhằm đánh giá chính xác hơn sai số của ĐCPLX.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] C. I. Morris, "Pulse Detonation Rocket Engine Research at NASA Marshall," *16th ONR Propulsion Meeting*, Los Angeles, USA, 9/2003, NTRS ID.20030062180, pp.1-6.
- [2] Y. Oda and T. Shibata, "Thrust Performance of Microwave Rocket Under Repetitive-Pulse Operation," *Journal of Propulsion and Power*, vol. 25, no.1, pp.118-122, Japan, 2009.
- [3] K. Kailasanath, "Recent Developments in the Research on Pulse Detonation Engines," *AIAA Journal*, vol. 41, no. 2, pp. 145-159, 2003.
- [4] M. Tang, Y. Gong, J. Xie, and X. Li, "Midcourse Guidance and Control for Pulse Motor Boost Missile," *Aerospace Science and Technology*, vol. 644, pp. 3371-3381, Germany, 2022.
- [5] S. Zhou, Y. Ma, F. Liu, and N. Hu, "Experimental Investigation on Pulse Operation Characteristics of a Rotating Detonation Rocket Engine," *Fuel*, vol. 354, 2023, Art. no. 129408.
- [6] A. L. Ivanov, "Micromechanical Rocket Engine," *Patent of the Russian Federation No. RU2498103C1*, (In Russian), 2013.
- [7] I. I. Arkhangelsky, P. P. Afanasyev, E. G. Bolotov, et al., *Design of Anti-Aircraft Guided Missiles*. Moscow: MAI Publishing House, (in Russian), 2001.
- [8] T. P. Pham, *Rocket engine theory*, Military Technical Academy, (In Vietnamese), Hanoi, 2019.