

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC CHO THIẾT BỊ HOẠT ĐỘNG TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

A METHOD FOR CALCULATING THE PROPULSION SYSTEM OF SUBSURFACE DEVICE

Nguyễn Trường Thanh^{1,*}, Nguyễn Huy Kiên², Bùi Ngọc Lâm³,
Nguyễn Văn Hưng⁴, Nguyễn Huy Thành⁴

DOI: <https://doi.org/10.57001/huivh5804.2025.288>

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một phương pháp tính toán các thông số làm việc của động cơ sử dụng cho thiết bị sử dụng trong môi trường nước, trong đó nhấn mạnh mối quan hệ chặt chẽ giữa các tham số kết cấu, tốc độ di chuyển và quỹ đạo hoạt động. Kết quả bài báo cung cấp một cách tiếp cận nhanh chóng và tương đối chính xác, giúp tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của thiết bị hoạt động trong môi trường nước - sử dụng động cơ nhiên liệu rắn thông qua phân tích ảnh hưởng các thông số kết cấu lên phóng đến các thông số quan trọng như lực đẩy, công suất, hiệu suất năng lượng. Đồng thời, nghiên cứu cũng đưa ra các mô hình toán học để mô phỏng quá trình vận động của vật trong các điều kiện thủy động lực học khác nhau. Kết quả thu được có thể ứng dụng, tham khảo trong thiết kế và chế tạo thiết bị hoạt động trong môi trường nước sử dụng động cơ nhiên liệu rắn, góp phần nâng cao hiệu quả tác chiến trong các nhiệm vụ quân sự trên biển.

Từ khóa: Động cơ nhiên liệu rắn hoạt động trong môi trường nước; thiết bị hoạt động trong môi trường nước; thiết bị dưới nước; hệ thống động lực.

ABSTRACT

This paper presents an optimized computational approach for determining key operating parameters of solid-fuel propulsion systems used in underwater platforms. The study highlights the strong interdependence between structural design variables, travel velocity, and operational trajectory. By analyzing the influence of propellant grain configuration and structural characteristics on critical performance metrics such as thrust, power output, and energy efficiency, the proposed method offers a fast and sufficiently accurate solution for performance optimization. Furthermore, the research introduces mathematical models to simulate motion dynamics under varying hydrodynamic conditions. The results serve as a valuable reference for the design and development of solid-propelled underwater military systems, contributing to enhanced mission effectiveness in naval operations.

Keywords: Solid-fuel rocket motor operating in underwater environments; device operating in underwater environments; subsurface devices; propulsion system.

¹Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Nhà máy X28, Cục kỹ thuật Hải quân

⁴Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: thanhvtv2010@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/6/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

1. GIỚI THIỆU

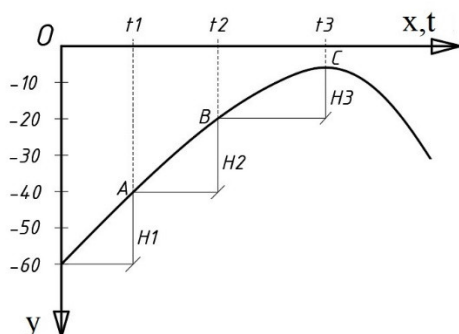
Thiết bị hoạt động trong môi trường nước (như thủy lôi, ngư lôi,...) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong nhiệm vụ bảo vệ vững chắc chủ quyền vùng biển, đảo, thềm lục địa. Đây là vũ khí có hiệu quả cao trong cả nhiệm

vụ phòng thủ lẫn tấn công, đặc biệt trong tác chiến phòng thủ bờ biển. Do vậy, nghiên cứu động cơ nhiên liệu rắn của thiết bị hoạt động trong môi trường nước là một trong những nhiệm vụ quan trọng và hiện đang được đề cập nhiều trong các nhiệm vụ tại các cơ sở nghiên cứu trong và ngoài quân đội.

Trong [1, 2], các tác giả đã nghiên cứu cả bài toán thuận và “ngược” thuật phóng trong của thuốc phóng và hình dáng loa phụt. Trong nghiên cứu [3], nhóm tác giả đề ra một phương pháp tính toán động lực học cho vũ khí tầm gần. Nghiên cứu [4] đề xuất một phương pháp hiệu quả mới để tạo ra lực đẩy thay đổi thông qua các dây kim loại nhúng không liên tục trong động cơ tên lửa rắn. Nghiên cứu [5] cung cấp cái nhìn sâu sắc về lợi ích của động cơ tên lửa rắn quy mô nhỏ bằng cách sử dụng giá thử nghiệm cảm biến lực mới để đo lực đẩy, một biện pháp chính để đánh giá hiệu suất động cơ. Mặc dù, động cơ nhiên liệu rắn được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu, nhưng các nghiên cứu trên chỉ nghiên cứu ở điều kiện động cơ trong môi trường không khí.

Để đạt được những mục tiêu cơ bản về cự ly, khối lượng,... hệ thống động lực đóng vai trò quan trọng. Khi thiết kế, chế tạo bên cạnh việc nghiên cứu hệ thống nói chung, tính toán các tham số động lực động cơ nhiên liệu rắn của thiết bị hoạt động trong môi trường nước được quan tâm đầu tiên. Điểm khác biệt của động cơ dùng cho thiết bị hoạt động trong nước là độ sâu thay đổi liên tục dẫn tới áp suất môi trường thay đổi làm cho lực đẩy động cơ bị ảnh hưởng rất lớn. Do đó, để đảm bảo tính năng làm việc của thiết bị này cần tính toán nghiên cứu phân tích, chọn lựa được phương án động lực - kết cấu hợp lý. Bài báo trình bày một phương pháp tính toán các thông số làm việc của động cơ trong mối liên quan mật thiết giữa các tham số kết cấu, tốc độ và quỹ đạo nhằm đưa ra một cách tiếp cận nhanh và tương đối chính xác trong kỹ thuật tính toán thủy lôi làm việc trong môi trường nước.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT



Hình 1. Mô hình quỹ đạo chuyển động của thiết bị PA-A

Khi làm việc động cơ phải đảm bảo thiết bị hoạt động trong môi trường nước (gọi tắt là thiết bị PA-A) đạt tầm bắn và thời gian đến mục tiêu theo yêu cầu. Quỹ đạo chuyển bao gồm 2 giai đoạn động cơ làm việc (giai đoạn chủ động) và giai đoạn sau khi thuốc phóng động cơ cháy hết (giai đoạn thụ động) được mô tả như hình 1. Để đơn

giản hóa tính toán, coi cả hệ PA-A là một chất điểm có khối lượng bằng tổng khối lượng của cả hệ, chuyển động dưới tác dụng của lực đẩy động cơ, lực đẩy Ác-si-mét, lực cản của nước với vận tốc ban đầu bằng 0, bỏ qua ảnh hưởng nhiễu loạn của nước.

Trong đó, H là chiều sâu của vị trí động cơ, t là thời gian của toàn bộ quỹ đạo hoạt động từ khi phát hỏa tới khi tới mục tiêu. Quỹ đạo như mô tả trên hình 1, gồm 3 giai đoạn chính:

- Giai đoạn 1 (đoạn OA): là giai đoạn động cơ được phát hỏa, chuyển động trong ống chứa với gia tốc do hợp lực của các lực: lực đẩy động cơ P, lực nâng của nước F_{Acimet} , lực cản chính diện của nước F_c , F_{ms} lực ma sát giữa thiết bị PA-A/ống chứa và trọng lượng G của thiết bị PA-A với góc phóng θ . Thời gian diễn ra quá trình này là t_1 , chuyển động lên độ sâu H-H₁.

- Giai đoạn 2 (đoạn AB): động cơ đẩy thiết bị lên dần từ độ sâu 55m, hoạt động với lực đẩy P, di chuyển từ vị trí A tới B. Tại vị trí B động cơ ngừng hoạt động. Giai đoạn này có thể coi là giai đoạn tích cực của quỹ đạo. Trong giai đoạn này thiết bị PA-A chịu tác động của các lực: lực đẩy động cơ P, lực nâng của nước F_{Acimet} , lực cản chính diện của nước F_c và trọng lượng G. Các lực tác dụng lên thiết bị PA-A giai đoạn này giống các lực ở giai đoạn 1, chỉ khác là không còn lực ma sát giữa thành ống và thiết bị PA-A. Thời gian của giai đoạn này là t_2 , chuyển động với lên độ sâu H-(H₁+ H₂).

- Giai đoạn 3 (đoạn BCD): động cơ và cả bom phóng chuyển động tự do theo quán tính cho đến khi chìm xuống. Trong giai đoạn này thiết bị PA-A chịu tác động của các lực: lực nâng của nước F_{Acimet} , lực cản chính diện của nước F_c và trọng lượng G. Bom phóng chuyển động với thời gian t_3 và độ sâu lúc này của thiết bị PA-A lúc này là H-(H₁+H₂ + H₃).

Chỉ tiêu tính toán đặt ra trong khoảng độ sâu từ 50m đến 60m, nên: $H_{max} = (H_1 + H_2 + H_3)$, thỏa mãn điều kiện: $50 \leq H_{max} \leq 60$

Phân tích hệ thống lực tác dụng lên thiết bị PA-A trong 3 giai đoạn chuyển động, thiết lập hệ phương trình chuyển động của thiết bị PA-A theo tài liệu [6, 7]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= \xi \frac{P}{M} + \frac{F_{Acimet} - F_c}{M} - \xi_1 \cdot g \cdot k_{ms} \cdot \cos\theta - g \cdot \sin\theta \\ \dot{\theta} &= \xi_2 \cdot \frac{g \cdot \cos\theta}{v} \\ \dot{H} &= v \cdot \sin\theta \\ \dot{L} &= v \cdot \cos\theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

trong đó: k_{ms} - hệ số ma sát giữa tên lửa và đường trượt;

ξ_1 - biến điều kiện ma sát

$$\xi_1 = \begin{cases} 1 & \text{khi } \sqrt{L^2 + H^2} \leq S_0 \\ 0 & \text{khi } \sqrt{L^2 + H^2} > S_0 \end{cases} \quad (2)$$

S_0 - chiều dài bộ phóng;

ξ_2 - biến điều kiện góc tà

$$\xi_2 = \begin{cases} 0 & \text{khi } \sqrt{L^2 + H^2} \leq S_0 \\ -1 & \text{khi } \sqrt{L^2 + H^2} > S_0 \end{cases} \quad (3)$$

ξ_3 - biến điều kiện giai đoạn

$$\xi_3 = \begin{cases} 1 & \text{khi } t < t_x \\ 0 & \text{khi } t > t_x \end{cases} \quad (4)$$

Điều kiện đầu để tích phân hệ phương trình (1):

$$t_0 = 0; v = v_0 = 0; L = L_0 = 0; H = H_0 = 0; \theta = \theta_0$$

Theo [8-10], thiết lập được các phương trình thuật phóng trong động cơ thiết bị PA-A:

$$\begin{cases} \frac{dW_{td}}{dt} = Su; \frac{de}{dt} = u = u_1 p^v; \dot{m} = \frac{\varphi_2 \cdot K_0(k) \cdot F_{th} \cdot p}{\sqrt{RT}} \\ \frac{dT}{dt} = \frac{T}{W_{td} p} [S p_{tp} u R (\chi T_v - T) - (k-1) \dot{m} R T] \\ \frac{dp}{dt} = \frac{1}{W_{td}} [S p_{tp} u R \chi T_v - k \dot{m} R T - S p u] \end{cases} \quad (5)$$

Trong giai đoạn phụt khí tự do thì:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = -(k-1) \cdot \varphi_2 \cdot A_k \cdot F_{th} \cdot \sqrt{RT} \cdot \frac{T}{W_{td}} \\ \frac{dp}{dt} = \frac{k \cdot \dot{m} \cdot R \cdot T}{W_{td}}; \dot{m} = \frac{\varphi_2 \cdot K_k(k) \cdot F_{th} \cdot p}{\sqrt{RT}} \end{cases} \quad (6)$$

Ở đây: $\dot{m}$ là lưu lượng phụt khí; u_1, v là hệ số và số mũ tốc độ cháy của thuốc phóng; S là diện tích bề mặt cháy tại thời điểm t ; F_{th} là diện tích tiết diện tới hạn; W_{td}, W_{td0}, W_{max} lần lượt là thể tích tự do, thể tích tự do ban và thể tích tự do lớn nhất; φ_2 là hệ số tổn thất loa phụt; k là hằng số đoạn nhiệt; T, T_m lần lượt là nhiệt độ sản phẩm cháy thuốc phóng và nhiệt độ môi trường; m, m_0 lần lượt là khối lượng thuốc phóng tại thời điểm t và ban đầu; e, e_0 lần lượt là bề dày cháy thuốc phóng tại thời điểm t và ban đầu; R là hằng số khí; χ là hệ số tổn thất nhiệt qua thành buồng đốt động cơ; ρ_{tp} là mật độ thuốc phóng; p_{k1} là áp suất buồng đốt tại thời điểm thuốc phóng cháy hết;

Theo [8, 9], lực đẩy động cơ được xác định theo công thức:

$$P = \varphi_2 \cdot K_0(k) \cdot F_w(\xi_a, k) \cdot F_{th} \cdot p_0 + F_a(p_a - p_n) \quad (7)$$

$$\text{Với: } F_w(\xi_a, k) = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(1 - x^{\frac{k-1}{k}} \right)}; \xi_a = \frac{d_a}{d_{th}}; x = \frac{p_a}{p_0} \quad (8)$$

Ở đây: p_0, p_n và p_a lần lượt là áp suất trong buồng đốt, áp suất môi trường và áp suất tại tiết diện của ra loa phụt; d_{th} và d_a lần lượt là đường kính tới hạn và cửa ra loa phụt; F_a là diện tích tiết diện của ra loa phụt.

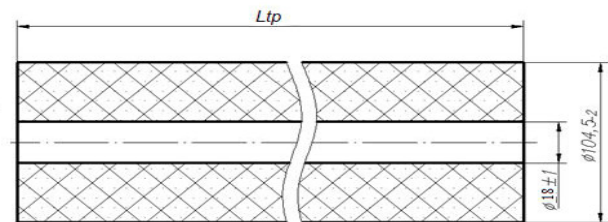
Sử dụng phần mềm Matlab xây dựng chương trình giải hệ phương trình vi phân (1), (5), (6) và (7) bằng phương pháp Runge - Kutta bậc 4 như các hệ phương trình vi phân thông thường. Từ đó, khảo sát, tính toán xác định lựa chọn hình dạng, khối lượng thuốc phóng và tương ứng xác định sơ bộ khối lượng của động cơ.

3. TÍNH TOÁN HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC CHO THIẾT BỊ HOẠT ĐỘNG TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Lấy ví dụ cần tính toán thiết bị hoạt động trong môi trường nước với các chỉ tiêu cơ bản ban đầu để tính toán thuật phóng cho động cơ PA-A: Đường kính bom phóng, không lớn hơn: 320mm; Chiều dài bom phóng, không lớn hơn 3200mm; Tổng khối lượng của bom phóng (dự kiến): 300kg; Độ sâu phao nâng (thiết bị PA-A): từ 50m đến 60m; Thời gian phóng thiết bị PA-A từ độ sâu 50m đến 60m lên mặt nước, không lớn hơn: 4 giây.

Từ yêu cầu chỉ tiêu thiết bị PA-A cần tiếp cận mục tiêu trong khoảng thời gian dưới 4 giây nên động cơ thiết bị PA-A phải có lực đẩy lớn trong khoảng thời gian ngắn. Tiến hành khảo sát các hình dạng liều nhiên liệu phù hợp với đặc điểm hoạt động của thiết bị PA-A.

3.1. Thỏi thuốc phóng hình ống một lỗ



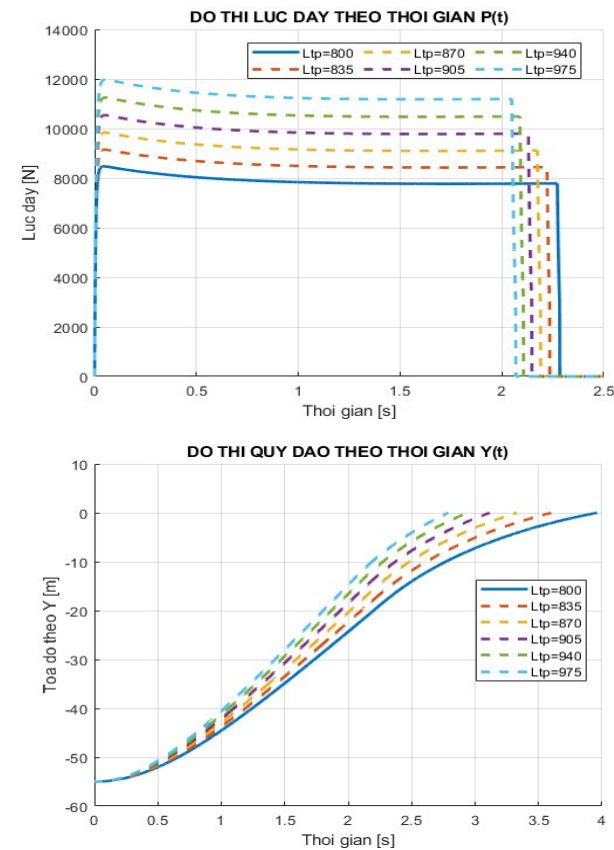
Hình 2. Kết cấu liều phóng sử dụng thỏi thuốc hình ống một lỗ

Bảng 1. Thông số thuật phóng của động cơ sử dụng thỏi thuốc phóng hình ống một lỗ

TT	Chiều dài thỏi thuốc L_{tp} (mm)	Áp suất lớn nhất p_{max} (MPa)	Lực đẩy trung bình P_{tb} (kN)	Vận tốc lớn nhất v_{max} (m/s)	Thời gian thuốc phóng cháy hết t_k (s)	Thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước t_{mat} (s)
1	800	6,7	7,9	21,7	2,270	3,961
2	835	7,1	8,6	22,8	2,220	3,599

3	870	7,5	9,3	23,8	2,173	3,329
4	905	7,9	10,0	24,9	2,128	3,115
5	940	8,4	10,7	25,8	2,086	2,939
6	975	8,8	11,4	26,8	2,047	2,789

Liều nhiên liệu là thuốc phóng RSI-12M hình ống một lỗ như hình 2. Khảo sát L_{tp} từ 800mm đến 975mm, được tham số thuật phóng động cơ có đường kính tiết diện tối hạn của loa phụt $d_{th} = 36,5\text{mm}$ với các liều thuốc phóng hình ống một lỗ được cho trong bảng 1.

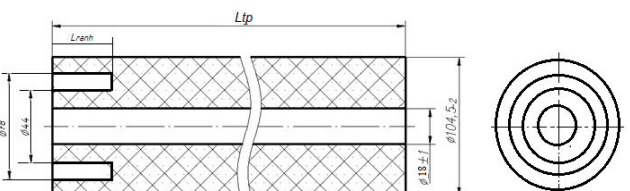


Hình 3. Đồ thị lực đẩy và quỹ đạo thời thuốc phóng hình ống một lỗ

Nhận xét: Khi chiều dài thời thuốc càng tăng lực đẩy động cơ càng lớn và thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước càng ngắn. Với chiều dài thời thuốc $L_{tp} = 800\text{mm}$, vẫn đảm bảo thời gian thiết bị PA-A trôi lên mặt nước từ độ sâu 55m là dưới 4 giây. Tuy nhiên để đảm bảo độ dự trữ năng lượng lựa chọn chiều dài thời thuốc phóng $L_{tp} = 940\text{mm}$.

3.2. Thời thuốc hình ống một lỗ có rãnh trên mặt đầu

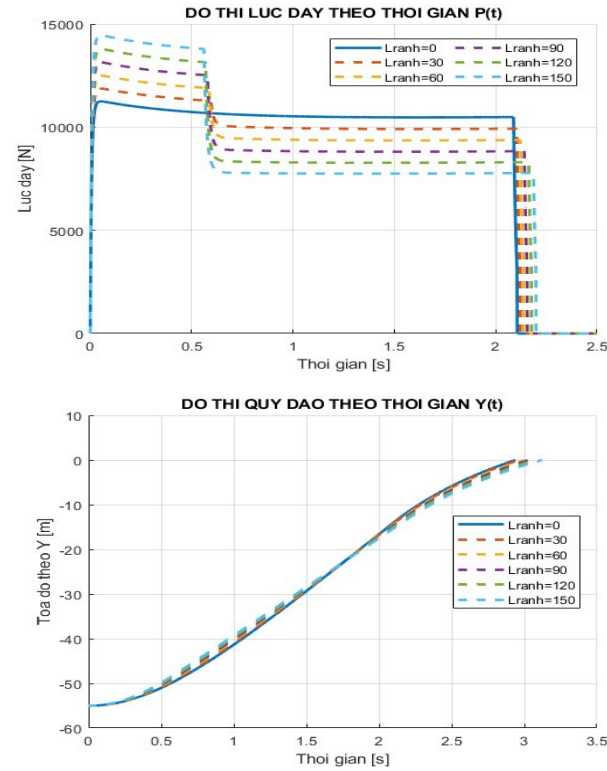
Liều nhiên liệu là thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh trên mặt đầu như hình 4. Chọn $L_{tp} = 940\text{mm}$, khảo sát L_{ranh} từ 0mm đến 150mm, ta được tham số thuật phóng động cơ có đường kính tối hạn loa phụt $d_{th} = 36,5\text{mm}$ với các liều thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu được cho trong bảng 2.



Hình 4. Thời thuốc hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu

Bảng 2. Thông số thuật phóng động cơ sử dụng thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu

TT	Chiều dài rãnh L_{ranh} (mm)	Áp suất lớn nhất p_{max} (MPa)	Lực đẩy trung bình P_{tb} (kN)	Vận tốc lớn nhất v_{max} (m/s)	Thời gian thuốc phóng cháy hết t_k (s)	Thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước t_{mat} (s)
1	0	8,4	10,7	25,8	2,086	2,939
2	30	8,8	10,4	25,1	2,102	2,966
3	60	9,2	10,2	24,3	2,12	2,997
4	90	9,6	9,9	23,6	2,139	3,034
5	120	10,0	9,7	22,8	2,161	3,075
6	150	10,4	9,4	22,0	2,185	3,123



Hình 5. Đồ thị lực đẩy và quỹ đạo thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu

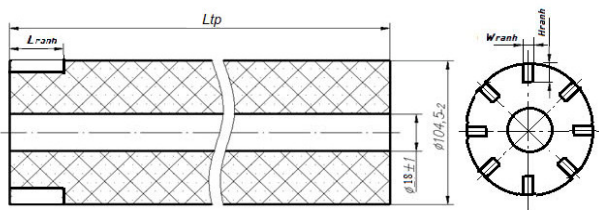
Nhận xét: Với thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu, lực đẩy động cơ thay đổi có bước nhảy: Giai đoạn đầu lực đẩy lớn hơn giai đoạn sau, chiều dài rãnh

càng lớn thì sự thay đổi lực trong các giai đoạn càng lớn. Dựa vào đồ thị quỹ đạo, thời gian lên mặt nước của thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt đầu sẽ lớn hơn so với khi không có rãnh.

3.3. Thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài

Liều nhiên liệu là thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài như hình 6. Xét các trường hợp sau:

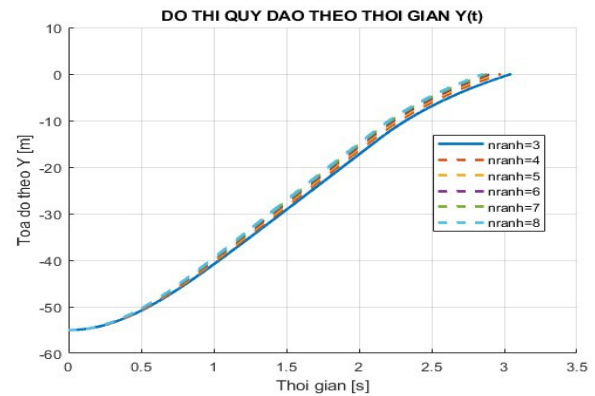
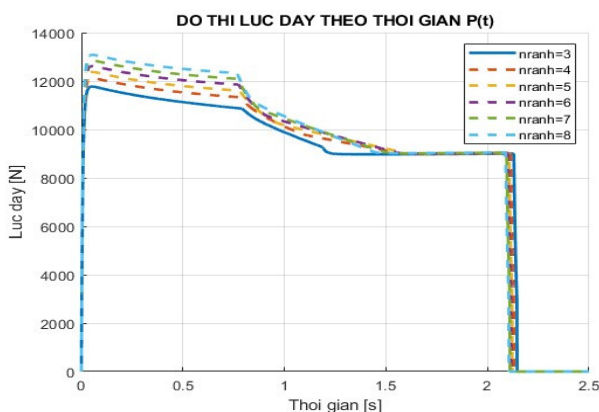
+ Chọn $L_{tp} = 940\text{mm}$, $L_{ranh} = 80\text{mm}$, $H_{ranh} = 24,2\text{mm}$, khảo sát N_{ranh} từ 3 đến 8, ta được tham số thuật phóng động cơ có đường kính tới hạn loa phụt $d_{th} = 36,5\text{mm}$ với các liều thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài được cho trong bảng 3.



Hình 6. Thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài

Bảng 3. Thông số thuật phóng của động cơ sử dụng thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với số rãnh khác nhau

TT	Số rãnh N_{ranh}	Áp suất lớn nhất p_{max} (MPa)	Lực đẩy trung bình P_{tb} (kN)	Vận tốc lớn nhất v_{max} (m/s)	Thời gian thổi thuốc phóng cháy hết t_k (s)	Thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước t_{mat} (s)
1	3	8,7	10,0	23,9	2,128	3,049
2	4	8,9	10,3	24,2	2,112	2,977
3	5	9,1	10,5	24,5	2,104	2,938
4	6	9,2	10,6	24,6	2,098	2,907
5	7	9,4	10,7	24,8	2,093	2,88
6	8	9,5	10,8	24,9	2,088	2,855



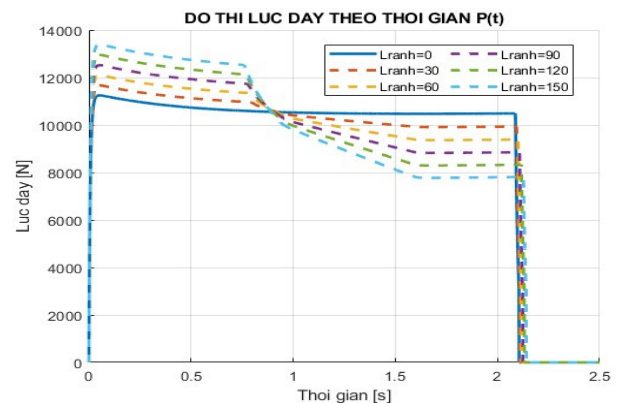
Hình 7. Đồ thị lực đẩy và quỹ đạo thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với số rãnh khác nhau

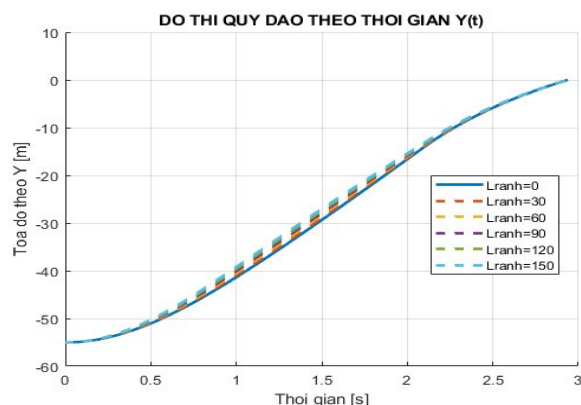
Nhận xét: Với thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài, lực đẩy động cơ thay đổi có bước nhảy nhỏ hơn so với xẻ rãnh mặt đầu, số rãnh càng lớn thì sự thay đổi lực trong các giai đoạn càng lớn. Dựa vào đồ thị quỹ đạo, thời gian lên mặt nước của thổi thuốc phóng nào có nhiều rãnh hơn sẽ lên mặt nước nhanh hơn.

Chọn $N_{ranh} = 5$, khảo sát L_{ranh} từ 0mm đến 150mm, ta được tham số thuật phóng động cơ có đường kính tới hạn loa phụt $d_{th} = 36,5\text{mm}$ với các liều thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài được cho trong bảng 4.

Bảng 4. Thông số thuật phóng của động cơ sử dụng thổi thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với các chiều dài rãnh khác nhau

TT	Chiều dài rãnh L_{ranh} (mm)	Áp suất lớn nhất p_{max} (MPa)	Lực đẩy trung bình P_{tb} (kN)	Vận tốc lớn nhất v_{max} (m/s)	Thời gian thổi thuốc phóng cháy hết t_k (s)	Thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước t_{mat} (s)
1	0	8,4	10,7	25,8	2,086	2,939
2	30	8,7	10,6	25,2	2,092	2,937
3	60	8,9	10,5	24,6	2,099	2,937
4	90	9,2	10,4	24,4	2,107	2,939
5	120	9,5	10,3	24,4	2,116	2,942
6	150	9,7	10,2	24,5	2,126	2,948





Hình 8. Đồ thị lực đẩy và quỹ đạo thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với chiều dài rãnh khác nhau

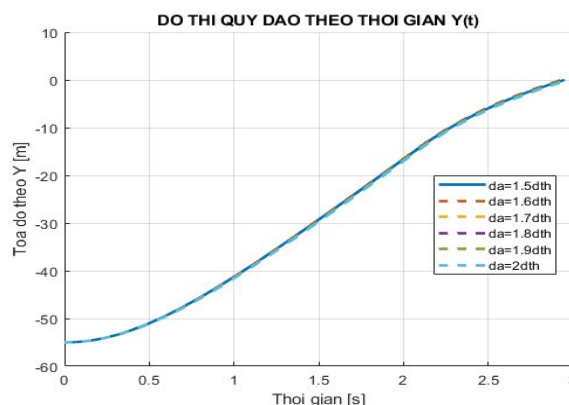
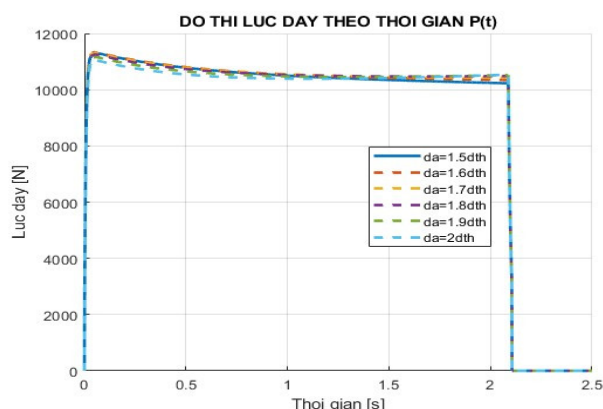
Nhận xét: Hình dạng liểu phóng một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với các chiều dài rãnh khác nhau không ảnh hưởng nhiều đến quỹ đạo của thiết bị PA-A.

Qua các phương án hình dạng thuốc phóng khác nhau, ta chọn thuốc phóng hình trụ một lỗ, tuy không tối ưu nhưng vẫn đảm bảo các yêu cầu đối với động cơ.

Với phương án đã chọn, khảo sát sự thay đổi đường kính ra của loa phụt $d_a = \xi_a \cdot d_{th}$ với ($\xi_a = 1,5 \dots 2$), ta có bảng 5.

Bảng 5. Thông số thuật phóng của động cơ sử dụng thời thuốc phóng hình ống một lỗ xẻ rãnh mặt ngoài với hệ số k thay đổi

TT	Hệ số mở rộng loa phụt ξ_a	Áp suất lớn nhất p_{max} (MPa)	Lực đẩy trung bình P_{th} (kN)	Vận tốc lớn nhất v_{max} (m/s)	Thời gian thuốc phóng cháy hết t_k (s)	Thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước t_{mat} (s)
1	1,5	8,4	10,6	25,6	2,086	2,951
2	1,6	8,4	10,7	25,7	2,086	2,936
3	1,7	8,4	10,7	25,8	2,086	2,933
4	1,8	8,4	10,7	25,8	2,086	2,939
5	1,9	8,4	10,6	25,8	2,086	2,954
6	2,0	8,4	10,5	25,8	2,086	2,979



Hình 9. Đồ thị lực đẩy và quỹ đạo thời thuốc phóng hình ống một lỗ với hệ số ξ_a thay đổi

Nhận xét: Với phương án thiết kế cửa ra loa phụt $d_a = 1,7d_{th}$ thời gian thiết bị PA-A lên mặt nước là ít nhất.

Bài báo đề xuất phương án hình dạng liểu phóng hình ống một lỗ có các thông số đảm bảo các chỉ tiêu làm việc của thiết bị PA-A như bảng 6.

Bảng 6. Các thông số hình học liểu thuốc phóng hình ống một lỗ đã chọn

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính ngoài	D_n	104,5	mm
2	Đường kính trong	d_{tr}	18,0	mm
3	Đường kính tối hạn loa phụt	d_{th}	36,5	mm
4	Đường kính cửa ra loa phụt	d_a	62,5	mm
5	Chiều dài thời thuốc	L_{tp}	940	mm

4. KẾT LUẬN

Dựa trên lý thuyết thuật phóng ngoài và lý thuyết thuật phóng trong, bài báo đã xây dựng phương trình động lực học và một phương pháp tính toán các tham số làm việc chính của động cơ dùng cho thiết bị PA-A trong mối liên quan mật thiết giữa các tham số kết cấu, tốc độ và quỹ đạo nhằm đưa ra một cách tiếp cận nhanh và tương đối chính xác trong kỹ thuật tính toán thiết bị PA-A làm việc trong môi trường nước. Điểm khác biệt của động cơ dùng cho thiết bị PA-A là độ sâu thay đổi liên tục dẫn tới áp suất môi trường thay đổi làm cho lực đẩy động cơ bị ảnh hưởng rất lớn. Do đó, bài báo đã chọn phương án hình dạng liểu thuốc phóng phù hợp để đảm bảo tính năng làm việc của thiết bị PA-A.

Kết quả của bài báo này là cơ sở để kiểm chứng kết quả thực nghiệm trong quá trình thiết kế thử nghiệm động cơ cũng như sử dụng để tính toán bài toán chuyển động của tên lửa trong môi trường nước, tính toán kết cấu tổng thể của tên lửa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đ. H. Triển, N. T. Thanh, “Ứng dụng bài toán ngược thuật phóng trong cho tính toán thiết kế liều phóng thay thế trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn,” *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự*, 137-144, 2007.
- [2]. D. Q. Hiếu và cộng sự “Nghiên cứu mô phỏng luồng phụt dòng sản phẩm cháy sau động cơ tên lửa nhiên liệu rắn,” *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự*, Số kỷ yếu 55 năm Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, 2015.
- [3]. N. T. Thanh và cộng sự “Phương pháp tính toán hệ thống động lực tên lửa có điều khiển tầm gần,” *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự*, Số kỷ yếu 55 năm Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, 2015.
- [4]. Q. Wu, Q. Ren, “Tuning the Ballistic Performance of a Single-Burning-Rate Grain Solid Rocket Motor via New Discontinuous Embedded Metal Wires,” *Aerospace*, 11, 4, 308, 2024.
- [5]. T. Thomas, L. Simitz, “Experimental characterization of thrust for ≤ 20 N-s impulse solid rocket motors,” *Journal of Emerging Investigators*, 7, 1-7, 2024.
- [6]. M. S. Alam, R. K. Agarwal, “Trajectory Prediction of Spin-Stabilized Projectiles Using Computational Fluid Dynamics,” *Journal of Applied Mechanics*, 2019.
- [7]. N. Đ. Sai, Đ. V. Thọ, *Thuật phóng ngoài*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2000.
- [8]. P. T. Phiệt, *Lý thuyết động cơ tên lửa*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 1995.
- [9]. P. T. Phiệt, *Cơ sở tính toán đạn phản lực không điều khiển*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2006.
- [10]. L. S. Tùng, N. C. Hòe, H. T. Dũng, B. Đ. Tân, *Cơ sở tính toán và thiết kế động cơ nhiên liệu rắn*. Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự, Hà Nội, 2015.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Truong Thanh¹, Nguyen Huy Kien², Bui Ngoc Lam³,
Nguyen Van Hung⁴, Nguyen Huy Thanh⁴**

¹Rocket Institute, Academy of Military Science and Technology, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Vietnam

³Navy Technical Department, Vietnam

⁴Faculty of Special Equipment, Le Quy Don Technical University, Vietnam