

NGHIÊN CỨU CHUYỂN ĐỘNG ỔN ĐỊNH CỦA VẬT THỂ CỖ NHỎ CÓ TỐC ĐỘ CAO TRONG HAI MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ VÀ NƯỚC

STUDY ON THE STABLE MOTION OF HIGH-SPEED SMALL PROJECTILE IN AIR AND WATER ENVIRONMENTS

Đào Văn Đoàn^{1,*}, Nguyễn Huy Kiên²,
Ninh Đức Hiếu³, Lê Xuân Long¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.385>

TÓM TẮT

Bài báo đã trình bày mô hình chuyển động ổn định của vật thể nhỏ có tốc độ cao trong hai môi trường không khí và nước. Trong không khí vật thể tốc độ cao chuyển động ổn định trong không khí bằng hiệu ứng con quay, có tính đến lực cản khí động học như: mô men lật khí động, mô men cản dao động và mô men ma sát dọc trục, còn khi chuyển động dưới nước nó chuyển động ổn định theo hiệu ứng siêu khoang có tính đến lực cản phần đầu mũi đạn, lực cản phần đuôi đạn tác động lên thành khoang và trọng lượng của vật thể. Kết quả tính toán đã cho thấy vật thể cỡ 7,62mm với đường kính mũi 1,2mm có tầm bắn hiệu quả trong không khí trên 350m và tầm bắn hiệu quả trong nước trên 10m, đáp ứng yêu cầu chiến kỹ thuật cơ bản của đầu đạn bắn hai môi trường, là cơ sở để tính toán thiết kế đạn bắn hai môi trường áp dụng trong lĩnh vực khoa học kỹ thuật quân sự.

Từ khóa: Vật thể (đầu đạn), sơ tốc, tầm bắn hiệu quả, siêu khoang.

ABSTRACT

This paper presents a model of the stable motion of a high-speed small projectile in two environments: air and water. In air, the high-speed projectile moves stably due to the gyroscopic effect, taking into account aerodynamic resistance factors such as aerodynamic overturning moment, damping moment, and axial friction moment. When moving underwater, the projectile maintains stable motion based on the supercavitation effect, with consideration given to nose drag, the drag from the projectile's tail acting on the cavity wall, and the projectile's weight. Computational results show that a 7.62mm projectile with a 1.2mm nose diameter achieves an effective range of over 350m in air and over 10m in water, meeting the basic tactical and technical requirements for dual-environment projectiles. This serves as a foundation for the design and development of dual-environment ammunition in the field of military science and engineering.

Keywords: Projectile, muzzle velocity, effective range, supercavitation.

¹Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Tiểu đoàn 2, Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email: doandv@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/7/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 02/10/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong không khí vật thể tốc độ cao chuyển động ổn định trong không khí bằng hiệu ứng con quay [1, 2], có tính đến lực cản khí động học như: mô men lật khí động, mô men cản dao động và mô men ma sát dọc trục, còn khi chuyển động dưới nước nó chuyển động ổn định theo hiệu ứng siêu khoang [3-7], có tính đến lực cản phần đầu

mũi đạn, lực cản phần đuôi đạn tác động lên thành khoang và trọng lượng của vật thể.

Đạn bắn hai môi trường là đạn khi bắn, đầu đạn ổn định trong không khí bằng hiệu ứng con quay và ổn định trong nước bằng hiệu ứng siêu khoang. Trong bối cảnh hiện đại hóa quân đội và phát triển vũ khí công nghệ cao, việc nghiên cứu mô hình chuyển động của đầu đạn trong

các điều kiện môi trường phức tạp, khác nhau đang nhận được nhiều sự quan tâm của các nước lớn trên thế giới, đặc biệt như: Nga, Mỹ, Na Uy. Trong đó nổi trội hơn cả là Công ty DSG của Na Uy [11, 12] đã nghiên cứu chế tạo thành công các loại đạn bắn hai môi trường cỡ nhỏ. Đạn bắn hai môi trường trong đó sử dụng hiệu ứng siêu khoang để ổn định đầu đạn dưới nước, còn khi bắn trong không khí thì ổn định đầu đạn bằng hiệu ứng con quay. Tuy nhiên, các nghiên cứu về đạn hai môi trường có đầu đạn vừa ổn định trong không khí, vừa ổn định dưới nước còn rất hạn chế do bí mật quân sự, không được phổ biến. Chính vì vậy việc nghiên cứu ổn định của vật thể cỡ nhỏ có tốc độ cao trong cả hai môi trường nước và không khí là thực sự cần thiết trong việc tính toán thiết kế đầu đạn bắn hai môi trường áp dụng trong lĩnh vực kỹ thuật quân sự.

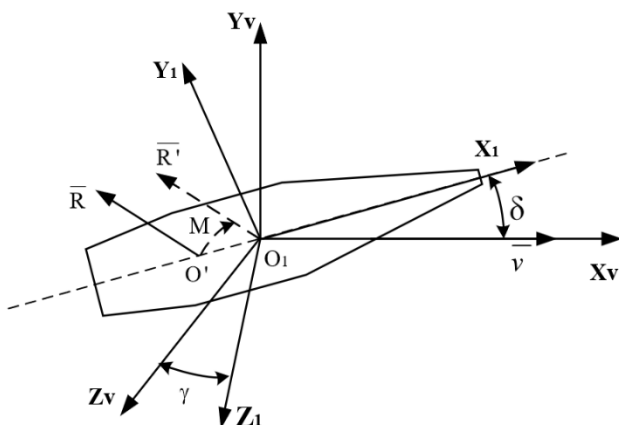
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA VẬT THỂ TỐC ĐỘ CAO TRONG HAI MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ VÀ NƯỚC

Trước khi đi vào xây dựng mô hình bài toán, ta giả thuyết rằng vật thể có dạng đối xứng có các thông số cơ bản: khối lượng m , chiều dài L , đường kính mũi đạn d_n và hình dạng khí động phù hợp khi chuyển động trong hai môi trường không khí và dưới nước

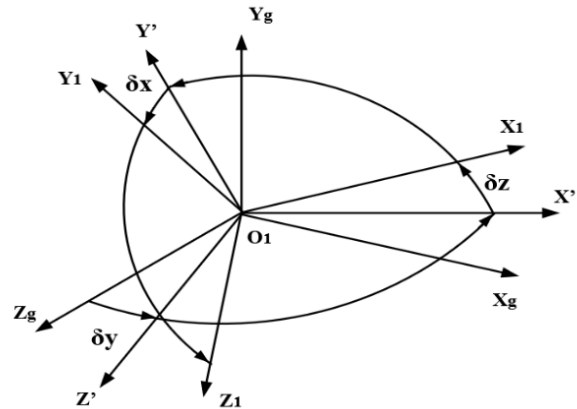
2.1. Mô hình vật thể có tốc độ cao chuyển động ổn định trong không khí

Trong quá trình tính toán, mô hình sử dụng các giả thiết sau:

- Vật thể coi là vật rắn cứng tuyệt đối và đối xứng qua trục dọc;
- Ổn định của vật thể bằng nguyên lý con quay;
- Vận tốc quay quanh trục dọc của vật thể là không đổi;
- Bỏ qua chuyển động của lực ma gút;
- Môi trường không khí ổn định và đồng nhất.



a) Mối tương quan giữa hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ vận tốc



b) Mối tương quan giữa hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ giữ hướng

Hình 1. Các hệ tọa độ trong không khí và mối tương quan giữa chúng

Để xây dựng mô hình chuyển động ổn định của vật thể trong không khí, ngoài hệ tọa độ cố định Oxyz gắn liền với mặt đất, còn sử dụng thêm hệ tọa độ giữ hướng, hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ vận tốc như hình 1.

Trong đó:

- $O_1x_vy_vz_v$ là hệ tọa độ vận tốc. Trục O_1x_v của hệ tọa độ vận tốc được xác định hướng dọc theo vận tốc khối tâm của vật thể. Trục O_1y_v và O_1z_v nằm trên mặt phẳng xích đạo của vật thể cùng với trục O_1x_v tạo thành tam diện thuận.

- $O_1x_1y_1z_1$ là hệ tọa độ liên kết có O_1x_1 trùng với trục dọc của đạn cùng với O_1y_1, O_1z_1 tạo thành tam diện thuận.

- $O_1x_gy_gz_g$ là hệ tọa độ giữ hướng có các trục song song với hệ tọa độ cố định Oxyz. Gốc của các hệ tọa độ liên kết, vận tốc và giữ hướng được đặt tại khối tâm của vật thể.

- Góc đảo δy : góc giữa hình chiếu trục O_1x_1 trên mặt phẳng nằm ngang và O_1x_g ;

- Góc lắc δz : góc giữa trục O_1x_1 và mặt phẳng ngang;

- Góc nghiêng δx : góc giữa trục O_1y_1 và trục O_1y_g .

Áp dụng phương trình Newton cho chuyển động của vật rắn trong không gian, ta nhận được hệ phương trình động lực học mô tả chuyển động của vật thể [1, 2] ổn định trong không khí là hệ phương trình (1).

$$\begin{cases} \dot{V} = \alpha \frac{\omega U_e}{Q_T(1-\mu)} - \beta \frac{C_a}{1-\mu} \pi(y) F(v_r) - g \sin \theta \\ \dot{\theta} = -\frac{g \cos \theta}{V}; \quad \dot{y} = V \sin \theta; \quad \dot{x} = V \cos \theta \\ I_{xx} \frac{d\omega_x}{dt} + \omega_y \omega_z (I_{zz} - I_{yy}) = \sum M_{x1} \\ I_{yy} \frac{d\omega_y}{dt} + \omega_z \omega_x (I_{xx} - I_{zz}) = \sum M_{y1} \\ I_{zz} \frac{d\omega_z}{dt} + \omega_x \omega_y (I_{yy} - I_{xx}) = \sum M_{z1} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: α, β là các hệ số tính toán, đối với vật thể cỡ nhỏ: $\alpha = 0, \beta = 1, \mu = 0$; C_a là hệ số phóng; $\pi(y)$ là hàm áp suất tương đối; $F(v_r)$ là hàm lực cản; g là gia tốc trọng trường; θ là góc nghiêng của đạn so với phương ngang; V là vận tốc chuyển động khối tâm của đạn; I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} là các momen quán tính của vật thể đối với trục O_x, O_y, O_z ; M_x, M_y, M_z là các momen khi xét đến sự quay nhanh của vật thể.

- Momen lật khí động: mô men này có xu hướng làm lật vật thể và làm tăng góc chương động δ (góc tấn α):

$$M_R = \frac{\rho v^2}{2} S L m_z^{\delta} \delta = \frac{\rho v^2}{2} S L m_z^{\alpha} \alpha \quad (2)$$

- Momen cản dao động: mô men này có xu hướng làm giảm biên độ dao động của trục đạn. Trong biểu thức của nó có chứa các lực ma sát và các lực áp suất:

$$M_C = \frac{dL^3}{g} 10^3 H(y) v m K_w (v/a) \quad (3)$$

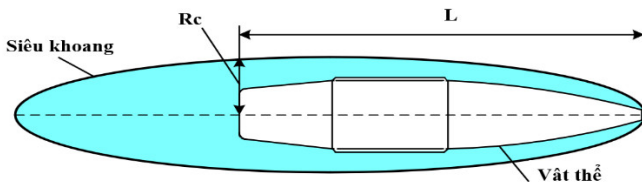
- Momen ma sát dọc trục: mô men này làm giảm tốc độ góc quay riêng của vật thể xung quanh trục dọc của nó và được xác định theo biểu thức:

$$M_{ms} = \frac{dL^3}{g} 10^3 H(y) v r K_r (M) \quad (4)$$

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

$$t = t_0; v = v_0; x = x_0 = 0; y = y_0 = 0; \theta = \theta_0.$$

2.2. Mô hình vật thể có tốc độ cao chuyển động ổn định trong nước



Hình 2. Mô hình siêu khoang

Khi vật thể chuyển động với tốc độ cao ($v > 80\text{m/s}$) với hình dạng mũi đạn phù hợp (mặt phẳng hoặc góc côn 120 độ) [7-11], nước bị tách ra khỏi bề mặt vật thể tạo thành khoang rỗng có áp suất thấp khoảng 0,3atm, trong đó có hiện tượng chuyển pha tạo ra các bọt khí. Các bọt khí tiếp tục phát triển, hình thành một khoang bao bọc toàn bộ vật thể. Khi khoang rỗng bao trùm cả vật thể thì khoang rỗng đó gọi là siêu khoang. Cả vật thể và vùng khoang cùng chuyển động trong nước, vì vật thể chỉ tiếp xúc với nước ở phần đầu mũi, nên lực cản tác dụng lên bề mặt vật thể giảm đi đáng kể, lực cản lúc này chỉ tập trung ở phần mũi của vật thể. Quá trình chuyển động của vật thể dưới tác dụng của lực cản, tốc độ của vật thể giảm dần, cùng với sự thu hẹp kích thước khoang, đuôi đạn tương tác với thành khoang đóng vai trò là mô men ổn

định để vật thể không bị nhào lộn, cuối cùng vật thể chuyển sang giai đoạn thấm ướt từng phần rồi hoàn toàn và nhanh chóng mất ổn định.

Khi xây dựng mô hình chuyển động của vật thể, sử dụng các giả thiết sau:

- Vật thể sau khi rời khỏi ống phóng trong nước có ngay vận tốc V , siêu khoang được hình thành tức thời và được tính toán theo mô hình mở rộng khoang của Logvinovich G.V [8]. Kích thước khoang có dạng hình elip trong đó $R_c(L)$ là bán kính tiết diện khoang ở khoảng cách $X = L$; L là chiều dài vật thể

- Ảnh hưởng của bụi nước trong khoang là không đáng kể, coi áp suất hơi nước trong khoang là không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động;

- Khi đuôi vật thể tác dụng lên thành khoang, thành phần phản lực vuông góc với thành khoang và tác dụng sang phía đối diện qua trục đối xứng vật thể;

- Bỏ qua ma sát giữa đuôi vật thể với nước khi đuôi vật thể tác dụng vào thành khoang;

- Vật thể là vật rắn hình trụ đối xứng tuyệt đối qua trục dọc của nó, bỏ qua chuyển động quay quanh trục vật thể;

- Môi trường nước là đồng nhất và đẳng hướng.

Trong xây dựng mô hình vật thể chuyển động ổn định dưới nước, sử dụng các hệ tọa độ cố định - Oxyz, hệ tọa độ giữ hướng - $O_1x_gy_gz_g$, hệ tọa độ liên kết - $O_1x_1y_1z_1$ và hệ tọa độ vận tốc $O_1x_vy_vz_v$ tương tự như mô hình vật thể chuyển động trong không khí (hình 3).

Ký hiệu và tên gọi các góc trong hình 3 như sau:

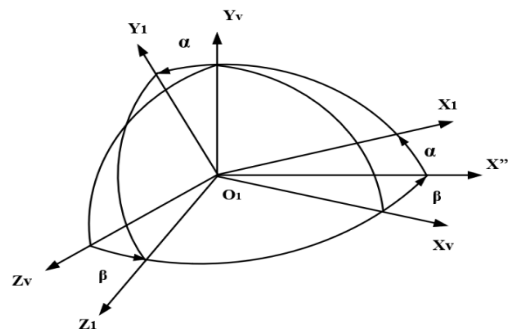
- Góc tấn α : góc giữa hình chiếu O_1x_v trên mặt phẳng $O_1x_1y_1$ và O_1x_1 ;

- Góc trượt β : góc giữa trục O_1x_v và mặt phẳng $O_1x_1y_1$;

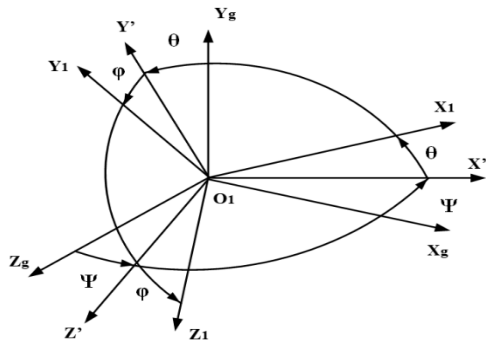
- Góc đảo ψ : góc giữa hình chiếu trục O_1x_1 trên mặt phẳng nằm ngang và O_1x_g ;

- Góc lắc θ : góc giữa trục O_1x_1 và mặt phẳng ngang;

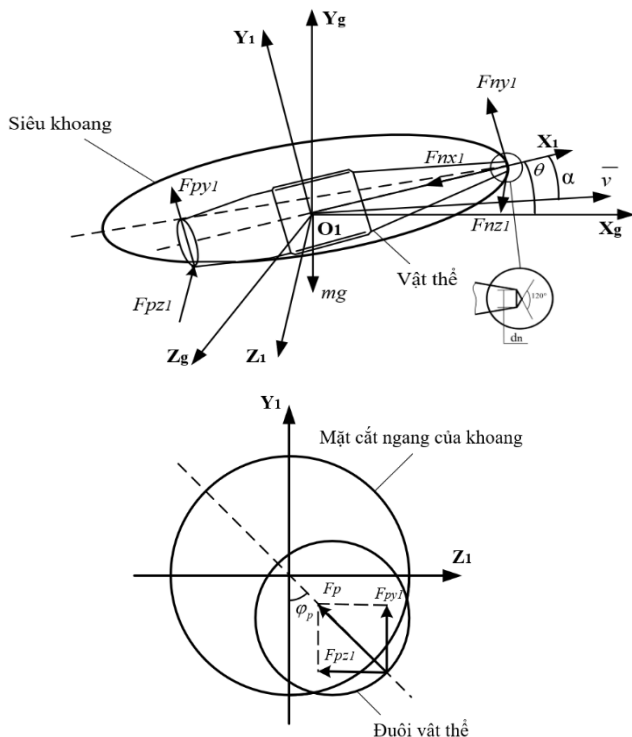
- Góc nghiêng φ : góc giữa trục O_1y_1 và trục O_1y_g khi $\theta = 0$.



a) Mối tương quan giữa hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ vận tốc



b) Mối tương quan giữa hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ giữ hướng
Hình 3. Các hệ tọa độ trong nước và mối tương quan giữa chúng



Hình 4. Mô hình đạn chuyển động dưới nước với hiệu ứng siêu khoang

Áp dụng phương trình Newton - Euler cho chuyển động của vật rắn trong không gian, ta nhận được hệ phương trình động lực học [3-5, 8] mô tả chuyển động của vật thể trong môi trường nước theo hệ phương trình (5):

$$\begin{cases} m\left(\frac{dV_{x1}}{dt} + \omega_y V_{z1} - \omega_z V_{y1}\right) = \sum F_{x1}; m\left(\frac{dV_{y1}}{dt} + \omega_z V_{x1} - \omega_x V_{z1}\right) = \sum F_{y1} \\ m\left(\frac{dV_{z1}}{dt} + \omega_x V_{y1} - \omega_y V_{x1}\right) = \sum F_{z1}; I_{xx} \frac{d\omega_x}{dt} + \omega_y \omega_z (I_{zz} - I_{yy}) = \sum M_{x1} \\ I_{yy} \frac{d\omega_y}{dt} + \omega_z \omega_x (I_{xx} - I_{zz}) = \sum M_{y1}; I_{zz} \frac{d\omega_z}{dt} + \omega_x \omega_y (I_{yy} - I_{xx}) = \sum M_{z1} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \dot{\psi} = \frac{1}{\cos\theta} (\omega_y \cos\phi - \omega_z \sin\phi); \dot{\theta} = \omega_y \sin\phi + \omega_z \cos\phi \\ \dot{\phi} = \omega_x - \tan\theta (\omega_y \cos\phi - \omega_z \sin\phi); \frac{dx}{dt} = V \cos(\theta - \alpha) \cos(\psi - \beta) \\ \frac{dy}{dt} = V \sin(\theta - \alpha); \frac{dz}{dt} = -V \cos(\theta - \alpha) \sin(\psi - \beta) \end{cases}$$

Trong đó: $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ là hình chiếu véc tơ vận tốc góc của hệ tọa độ liên kết đối với hệ tọa độ cố định; V_{x1}, V_{y1}, V_{z1} là các hình chiếu của véc tơ vận tốc khối tâm đạn trong hệ tọa độ liên kết; $\sum F_{x1}, \sum F_{y1}, \sum F_{z1}$ là tổng các hình chiếu của ngoại lực trên các trục của hệ tọa độ liên kết; với $\sum M_{x1}, \sum M_{y1}, \sum M_{z1}$ là tổng các hình chiếu của mô men chính đối với khối tâm O_1 của hệ ngoại lực tác dụng lên đạn trên hệ tọa độ liên kết.

- Lực cản tiếp tuyến trên mũi vật thể: gây ra cản trở chuyển động tịnh tiến.

$$F_{nx1} = \frac{-\rho V^2 \pi d_n^2}{8} C_x \cos \alpha_n \cos \beta_n \quad (6)$$

- Lực cản nâng trên mũi vật thể: gây ra chuyển động lắc quanh khối tâm đạn.

$$F_{ny1} = \frac{\rho V^2 \pi d_n^2}{8} C_x \sin \alpha_n \cos \beta_n \quad (7)$$

- Lực cản bên trên mũi vật thể: gây ra chuyển động lắc quanh khối tâm đạn.

$$F_{nz1} = \frac{\rho V^2 \pi d_n^2}{8} C_x \cos \alpha_n \sin \beta_n \quad (8)$$

- Lực tác dụng lên thành khoang:

$$F_p = \rho V^2 \left(\pi R_c^2 \right) \sin \alpha_p \cos \alpha_p \left[1 - \left(\frac{R_c - R}{h + R_c - R} \right)^2 \right] \left(\frac{R + h}{R + 2h} \right) \quad (9)$$

Hệ phương trình vùng siêu khoang, theo Logvinovich G.V [5, 8]:

$$\begin{cases} R_c = R_n K_2 \sqrt{0,82 \frac{(1+\sigma)}{\sigma}} \\ \dot{R}_c = \frac{-\frac{20}{19} V \left(1 - \frac{4,5\sigma}{1+\sigma} \right) K_1^{\frac{23}{17}} \left[0,82 \frac{(1+\sigma)}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{1,92}{\sigma} - 3 \right) K_2} \end{cases} \quad (10)$$

$$h = \begin{cases} 0 & (R_c - R) > |\alpha_t| L \\ |R_c| L - (R_c - R) & (R_c - R) < |\alpha_t| L \end{cases}$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 0 & (R_c - R) > |\alpha_t| L \\ |\alpha_t| + \frac{\dot{R}_c}{V} & (R_c - R) < |\alpha_t| L \end{cases}$$

Trong đó: R_n là bán kính mũi đạn; K_1, K_2 là các hàm số của hệ số khoang σ ; độ sâu h và góc ngập nước α_p, α_t góc tấn tổng hợp xác định hướng ngấm của đuôi đạn lên bề mặt khoang.

3. GIẢI HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA VẬT THỂ TRONG HAI MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ VÀ NƯỚC

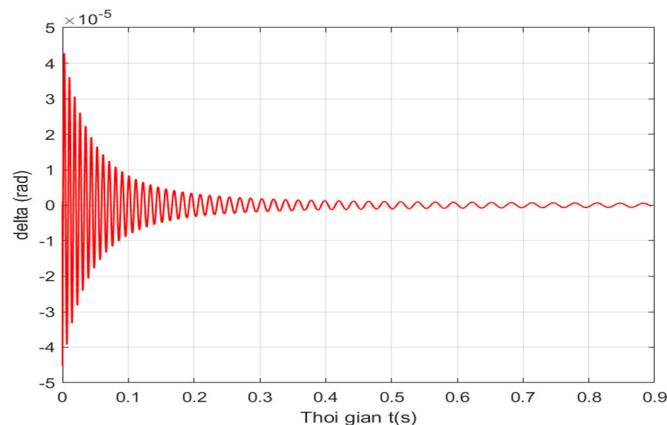
Giải gần đúng hệ phương trình vi phân chuyển động của vật thể: Trong không khí giải hệ phương trình (1) và trong môi trường nước giải đồng thời hệ phương trình (5) và (10) bằng phương pháp Runge-Kutta bậc 4 với các thông số đầu vào trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản

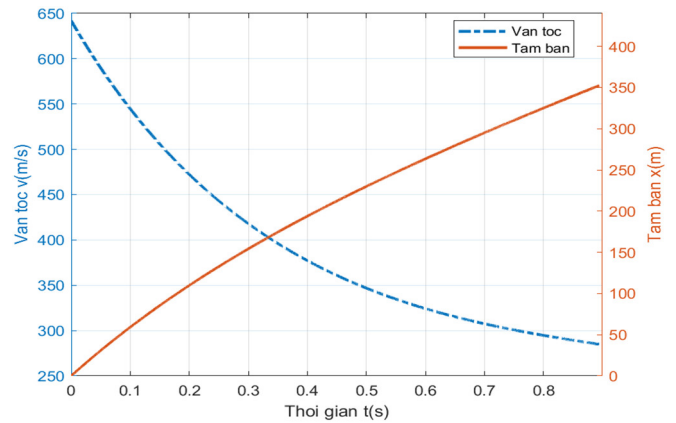
Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Trọng lượng vật thể	q	0,009	KG
Cỡ đạn	d	0,00762	m
Hệ số hình dạng đạn theo định luật 1943	i_{43}	1,255	
Sơ tốc	v_0	642	m/s
Vận tốc khi đạn đi sâu vào nước	v_n	545,7	m/s
Hệ số lực cản chính diện đối với mũi đạn phẳng	c_{x0}	0,82	
Khoảng cách từ tâm cảm đến trọng tâm	h_d	$8,6828e-3$	m
Góc bắn trong không khí	θ_{kk}	0,5	Độ
Góc bắn xuống dưới nước	θ_n	45	Độ
Chiều dài vật thể	L	$34e-3$	m
Khoảng cách từ đáy đạn đến trọng tâm	L_p	$13,388e-3$	m
Khoảng cách từ mũi đạn đến trọng tâm	L_n	$20,612e-3$	m
Tốc độ quay quanh trục của đạn	r_0	15595	rad/s
Momen quán tính đối với trục O_x	I_{xx}	$0,058e-6$	kg.m ²
Momen quán tính đối với trục O_y	I_{yy}	$0,524e-6$	kg.m ²
Momen quán tính đối với trục O_z	I_{zz}	$0,524e-6$	kg.m ²
Đường kính mũi đạn	d_n	$1,2e-3$	m
Gia tốc trọng trường	g	9,81	m/s ²

Kết quả mô tả quy luật chuyển động trong giai đoạn ổn định của vật thể như sau:

- Đối với vật thể chuyển động ổn định trong không khí ta được quy luật thay đổi góc chương động, quy luật thay đổi vận tốc và tầm bắn hiệu quả như hình 5.



a) Quy luật thay đổi góc chương động δ

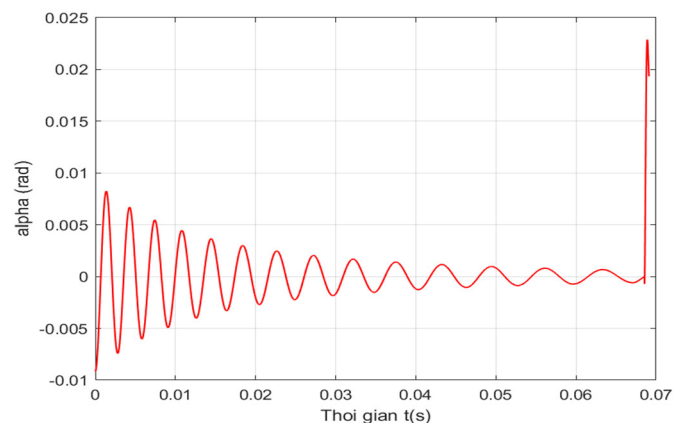


b) Quy luật thay đổi vận tốc và tầm bắn hiệu quả

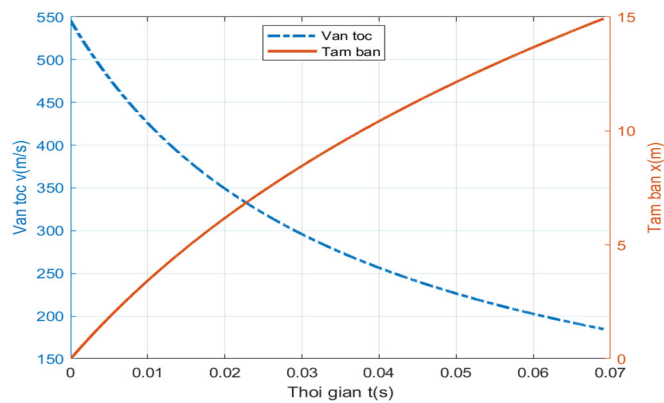
Hình 5. Quy luật thay đổi góc δ , vận tốc và tầm bắn hiệu quả của vật thể khi chuyển động ổn định trong không khí

Nhận xét: Khi vật thể được bắn ra khỏi nòng súng, nó vừa chuyển động tịnh tiến và vừa quay rất nhanh quanh trục dọc của chính nó do tác dụng của các rãnh xoắn trong nòng. Chuyển động quay này biến vật thể thành một hệ con quay hồi chuyển [1], làm giảm biên độ góc lắc của vật thể, tăng độ ổn định, giúp đạn có khả năng chống lại các tác động gây lệch hướng, rung lắc hay lật vật thể trong quá trình bay. Nhìn vào đồ thị ta thấy, biên độ dao động ban đầu của góc chương động δ lớn ($\pm 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$), sau đó giảm nhanh theo thời gian và gần như bằng "0" trong sau thời gian 0,6s, nhờ vào chuyển động quay quanh trục dọc của vật thể, xuất hiện mô men ổn định giúp cho vật thể ổn định hướng bay chính xác tới mục tiêu. Trong khoảng thời gian này, do lực cản của không khí tác dụng lên vật thể, tầm bắn hiệu quả của vật thể đạt 350m, vận tốc của vật thể giảm từ $V_0 = 630 \text{ m/s}$ về $280,5 \text{ m/s}$ vẫn đảm bảo khả năng sát thương mục tiêu, đáp ứng được yêu cầu chiến kỹ thuật của đạn súng bộ binh.

- Đối với vật thể chuyển động ổn định trong môi trường nước ta được quy luật thay đổi góc tấn, quy luật thay đổi vận tốc và tầm bắn hiệu quả như hình 6.



a) Quy luật thay đổi góc tấn α



b) Quy luật thay đổi vận tốc và tầm bắn hiệu quả

Hình 6. Đồ thị mô tả góc tấn α và vận tốc và tầm bắn hiệu quả của vật thể khi chuyển động ổn định dưới nước

Nhận xét: Dưới tác dụng của trọng lực, lực nâng ở mũi vật thể và trong điều kiện mất lực nổi Archimedes, vật thể chuyển động quanh khối tâm trong khoang. Nhìn vào đồ thị hình 6 ta thấy, biên độ giá trị góc tấn (α) giảm dần theo thời gian cùng với sự thu nhỏ của kích thước khoang sẽ xảy ra quá trình tác động đuôi vật thể với thành khoang, đuôi vật thể bị ngập dần trong nước. Lúc này xuất hiện lực tương tác F_p làm cho vận tốc góc giảm về "0", sau đó đảo chiều và tăng dần lên cho đến khi đuôi đạn tác động với thành khoang đối diện. Lực tác động giữa đuôi đạn với thành khoang đóng vai trò là mô men ổn định để vật thể không bị nhào lộn. Góc tấn (α) dao động quanh giá trị "0", giá trị biên độ giảm dần trong khoảng thời gian 0,07s tương ứng với quãng đường chuyển động ổn định của vật thể là 15m (tầm bắn hiệu quả trong ước), vận tốc vật thể giảm nhanh từ 545,7m/s về 189,5m/s đảm bảo khả năng sát thương người nhái, điều này đáp ứng yêu cầu chiến đấu của đặc công khi ở dưới nước chỉ quan sát được từ 1 đến 10m tùy theo chất lượng nước và kính hỗ trợ.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng được mô hình chuyển động của vật thể cỡ nhỏ có tốc độ cao trong hai môi trường không khí và nước gắn sát với mô hình chuyển động thực tế của đầu đạn bắn trong hai môi trường. Trong không khí vật thể tốc độ cao ổn định theo hiệu ứng con quay, mô men lật lúc này đóng vai trò là mô men ổn định do vị trí tâm cản ở phía sau trọng tâm đạn, giúp cho đạn giữ được chính xác hướng trong quá trình chuyển động. Còn chuyển động dưới nước ổn định theo hiệu ứng siêu khoang, lực nâng của mũi đạn và lực tác động của đuôi đạn với thành siêu khoang đóng vai trò là mô men ổn định, vật thể dao động với biên độ nhỏ, sau đó chuyển sang giai đoạn thấm ướt hoàn toàn và nhanh chóng mất ổn định.

Kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ rằng vật thể cỡ nhỏ có thể áp dụng trong thiết kế đạn bắn hai môi trường với

các thông số cơ bản như cỡ đạn 7,62mm, chiều dài 34mm, trọng lượng 0,009KG và đường kính mũi đạn 1,2mm có thể ổn định trong không khí với tầm bắn hiệu quả trên 350m, còn khi chuyển động đi sâu vào nước có thể đạt tầm bắn hiệu quả trên 15m đảm bảo khả năng sát thương đáp ứng yêu cầu chiến kỹ thuật khi tác chiến trong hai môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Thọ, Nguyễn Đình Sại, *Giáo trình thuật phóng ngoài*. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2003.
- [2]. *Giáo trình Cơ sở thiết kế đạn súng bộ binh*. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2007.
- [3]. Đào Văn Đoàn, Nguyễn Văn Hưng, "Xây dựng mô hình tính toán thuật phóng ngoài đạn bắn dưới nước," *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự*, 163, 114-122, 2014.
- [4]. Đào Văn Đoàn, Nguyễn Hải Minh, Nguyễn Hữu Thắng, "Nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu ứng siêu khoang đến tính ổn định chuyển động trên quỹ đạo của đạn súng bắn dưới nước," *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự*, 187, 21-30, 2017.
- [5]. Nguyen Huu Thang, Nguyen Hai Minh, Dao Van Doan, "Study on the spatial motion model of underwater projectile," *Journal of Military Science and Technology (Academy of Military Science and Technology)*, Special Issue, 60A, 117-128, 2019.
- [6]. Dullum O, "Ballistics of supercavitating projectiles," in *Proceedings of the 30th international symposium on ballistics*, 1, 107-118, 2017. <https://doi.org/10.12783/ballistics2017/16785>
- [7]. Waid R. L, *Cavity shapes for Circular Disks at Angles of Attack, Hydrodynamics Laboratory*. California Institute of Technology Pasadena, 1957.
- [8]. G.V. Logvinovich, *Hydrodynamics of Free-Boundary Flows*. Tech. Rep. NASA-TT-F-658, US Department of Commerce, Washington, DC, USA, 1972.
- [9]. PLogvinovich G.V, *Hydrodynamics of free boundary flows*. Naukova Dumka, Kiev, Ukraine, 1969.
- [10]. Nguyen Thai Dung, Nguyen Duc Thuyen, "Study on Impact Forces of the Underwater Cavity Projectile," *Journal of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology*, 54(6), 797-807, 2016.
- [11]. <https://dsgtec.com/>.
- [12]. Atherton KD, *Russia unveils amphibious assault rifle*. Pop Sci., 2013. <https://www.popsci.com/article/technology/russiaunveils-amphibious-assault-rifle>

AUTHORS INFORMATION

Doan Dao Van¹, Nguyen Huy Kien², Hieu Ninh Duc³, Long Le Xuan¹

¹Faculty of Special Equipment, Military Technical Academy, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam

³Battalion 2, Military Technical Academy, Vietnam