

MÔ HÌNH BÀI TOÁN MÔ TẢ CHUYỂN ĐỘNG TRONG ỚNG PHÓNG CỦA TÊN LỬA NHIÊN LIỆU RẮN KHÔNG ĐIỀU KHIỂN

Lê Minh Thái, Nguyễn Văn Dũng, Hoàng Khắc Miên*

Tóm tắt: Bài báo trình bày mô hình toán học mô tả chuyển động trong ống phóng của tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển từ khi phát hỏa đến khi mất liên kết cơ học với ống phóng, có tính đến khe hở giữa đạn và ống phóng, chuyển động quay chậm của đạn... Áp dụng mô hình để tính toán cho đạn phản lực 9M-22Y do Nhà máy Z113/Tổng Cục CNQP sản xuất. Đây là cơ sở khoa học để nghiên cứu ảnh hưởng do dao động của trục đạn trong thời kỳ này đến quá trình chuyển động của đạn trong không gian.

Từ khóa: Tên lửa không điều khiển; Nhiên liệu rắn; Lực đẩy; Áp suất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với hệ thống vũ khí tên lửa, giai đoạn từ khi phát hỏa cho đến khi đạn mất liên kết cơ học hoàn toàn với dàn phóng xảy ra rất nhanh. Bài báo đưa ra mô hình bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển với các giả thiết sát thực tế hơn so với các mô hình trước đây [1], nhằm xác định các đặc trưng chuyển động của đạn với độ chính xác cao, phục vụ cho việc nghiên cứu quá trình chuyển động của đạn tên lửa trong không gian, nghiên cứu tán mát của đạn và đánh giá độ chụm của đạn khi bắn.

2. GIẢ THIẾT VÀ HỆ TỌA ĐỘ

2.1. Các giả thiết

Khi giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa, sử dụng các giả thiết sau: 1. Ống phóng cứng tuyệt đối; 2. Khi đai định tâm trước của tên lửa chưa rời ống phóng, đạn chuyển động quay và tịnh tiến dọc trục ống phóng; 3. Giai đoạn từ khi đai định tâm trước rời khỏi ống phóng đến khi đai định tâm sau thoát khỏi miệng ống phóng (đạn mất liên kết cơ học hoàn toàn với ống phóng), đạn không bị gục, va đập với ống phóng và chỉ tiếp xúc với ống phóng tại một điểm; 4. Giai đoạn chuyển động trong ống phóng là rất ngắn, coi khối lượng TL không đổi, không có sự dịch chuyển khối tâm, các hệ số lực cản, lực nâng không đổi; 5. Các giả thiết của bài toán thuật phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn theo [2].

2.2. Các hệ tọa độ và mối quan hệ giữa chúng

- Hệ tọa độ cố định O_0xyz trên mặt đất có gốc tọa độ O_0 nằm trên trục ống phóng ở thời điểm trước khi bắn; trục O_0x là giao của mặt phẳng bắn với mặt phẳng nằm ngang qua gốc tọa độ (trục ống phóng), theo hướng bắn là chiều dương; trục O_0y vuông góc với trục O_0x và hướng lên trên; trục O_0z cùng với O_0x và O_0y tạo thành tam diện thuận.

Đặc điểm chung của hệ tọa độ động: gốc tọa độ đặt tại khối tâm O của đạn tên lửa và chuyển động cùng với đạn tên lửa.

- Hệ tọa độ giữ hướng $Oxyz$, là hệ tọa độ chuẩn về hướng, các trục của nó luôn song song với các trục của hệ tọa độ cố định ($Ox // O_0x$; $Oy // O_0y$; $Oz // O_0z$).

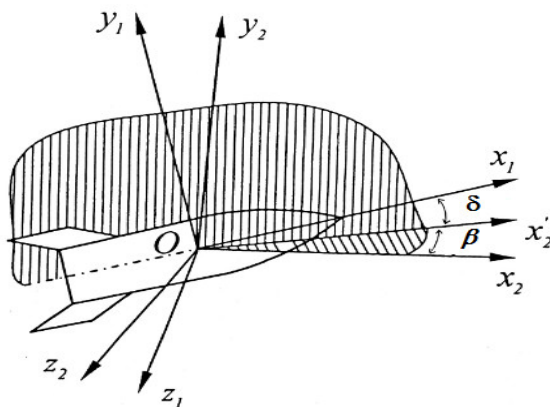
- Hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$ (hệ tọa độ thân đạn), gắn chặt với đạn tên lửa trong quá trình chuyển động, có các trục trùng với trục quán tính chính tâm của viên đạn. Trong đó: trục Ox_1 trùng với trục hình học (trục đối xứng) của tên lửa và hướng về phía mũi đạn; Oy_1 vuông góc với Ox_1 , hướng pháp tuyến với bề mặt tên lửa lên phía trên, thuộc mặt phẳng đối xứng; Oz_1 cùng với Ox_1 và Oy_1 tạo thành tam diện thuận.

- Hệ tọa độ vận tốc (hệ tọa độ đường đạn) $Ox_2y_2z_2$: chứa lực khí động, trong đó: Ox_2

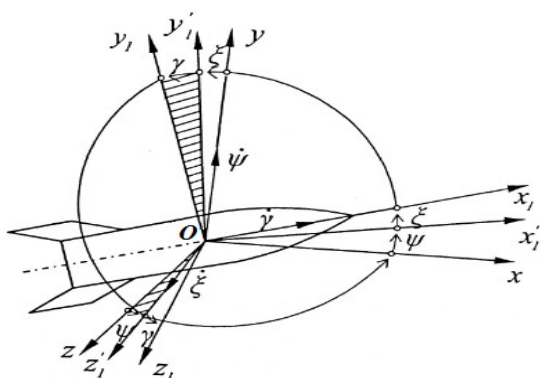
trùng với véc tơ vận tốc của khối tâm; Oy_2 vuông góc với Ox_2 và theo hướng lực nâng, nằm trong mặt phẳng đối xứng; Oz_2 cùng với Ox_2 và Oy_2 tạo thành tam diện thuận.

- Hệ tọa độ quỹ đạo $Ox_3y_3z_3$: nhằm xác định vận tốc tương đối của đạn so với hệ tọa độ cố định. Trong đó: trục Ox_3 trùng với véc tơ vận tốc của đạn TL đối với trái đất; Oy_3 vuông góc với Ox_3 và hướng lên trên, thuộc mặt phẳng thẳng đứng; Oz_3 cùng với Ox_3 và Oy_3 tạo thành tam diện thuận.

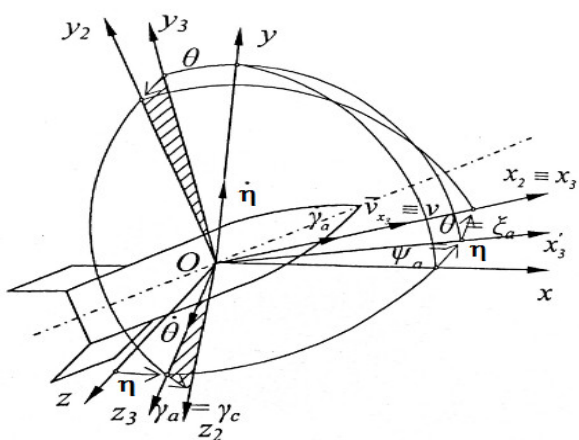
Các hệ tọa độ liên kết với nhau thông qua các hình 1, 2, 3.



Hình 1. Hệ tọa độ vận tốc $Ox_2y_2z_2$ và hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$.



Hình 2. Hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$ và hệ tọa độ giữ hướng $Oxzyz$.



Hình 3. Hệ tọa độ vận tốc, hệ tọa độ quỹ đạo và hệ tọa độ giữ hướng.

Ký hiệu các góc trong các hình 1, 2, 3 như sau:

- Góc trương động δ là góc giữa hình chiếu của trục Ox_2 lên mặt phẳng Ox_1y_1 và trục dọc của đạn Ox_1 .
- Góc trượt β là góc giữa trục Ox_2 và mặt phẳng đứng (do có khe hở giữa thân đạn với ống phóng).
- Góc đảo ψ là góc giữa hình chiếu trục Ox_1 trên mặt phẳng ngang và trục Ox ;
- Góc chòng chành ξ là góc giữa trục Ox_1 và mặt phẳng ngang.
- Góc nghiêng γ là góc giữa trục Oz và Oxz_1 khi góc đảo $\psi = 0$.
- Góc tiếp tuyến θ là góc giữa Ox_3 và mặt phẳng ngang;
- Góc nghiêng vận tốc γ_a là góc giữa trục Oz_2 và Oz khi $\psi_a = 0$;
- Góc đảo vận tốc ψ_a là góc giữa hình chiếu của Ox_2 trên mặt phẳng ngang và trục Ox ;
- Góc lắc vận tốc ξ_a là góc giữa trục Ox_2 và mặt phẳng ngang;
- Góc lệch η là góc giữa trục Ox và hình chiếu của trục Ox_3 trên mặt phẳng ngang;
- Góc nghiêng γ_c là góc giữa trục Oz_3 và Oz khi $\eta = 0$.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÊN LỬA TRONG ỐNG PHÓNG

3.1. Mô hình toán học giải bài toán thuật phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển

Thành lập hệ phương trình vi phân thuật phóng trong của động cơ tên lửa nhiên liệu rắn xác định quy luật thay đổi áp suất theo thời gian, từ đó xác định quy luật thay đổi lực đẩy của động cơ. Hệ phương trình vi phân thuật phóng trong và công thức xác định lực đẩy của động cơ [2] và [7]:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{tp}}{dt} = \frac{S u \rho_T}{\omega_T} \\ \frac{d\chi_n}{dt} = \frac{ab}{(1 + b\psi_{tp})^2} \frac{d\psi_{tp}}{dt} \\ \frac{dp}{dt} = -\frac{1}{V} \left[\left(\varphi_2 K_0(k) F_{th} \sqrt{\chi_n f_0} + Su - V \frac{1}{\chi_n} \frac{d\chi_n}{dt} \right) p - Su \chi_n f_0 \rho_T \right] \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: ψ_{tp} - Lượng thuốc phóng cháy tương đối; S - Diện tích bề mặt cháy; u - Tốc độ cháy của thuốc phóng; ρ_T - Mật độ thuốc phóng; ω_T - Khối lượng thuốc phóng; φ_2 - Hệ số tổn thất lưu lượng; $K_0(k)$ - Hàm chi số mũ đoạn nhiệt; p - Áp suất khí thuốc trong buồng đốt; χ_n - Hệ số tổn thất nhiệt trong buồng đốt; a, b - Các hệ số thực nghiệm; V - Thể tích tự do của khí tại mỗi thời điểm; F_{th} - Diện tích tiết diện tới hạn của loa phụt; f_0 - Lực thuốc phóng đẳng áp;

$$\text{Lực đẩy của động cơ tên lửa: } R_{tp} = C_p F_{th} p \quad (2)$$

3.2. Mô hình toán học giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn phản lực không điều khiển

Xuất phát từ định lý động lượng và định lý mô men động lượng kết hợp với các phép biến đổi, thu được hệ phương trình chuyển động tổng quát của đạn tên lửa trong ống phóng [3], như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \dot{v} = \frac{1}{m} (P_{x_3} + X_{x_3} + F_{msx_3} + F_{Xx_3} + Q_{x_3} + F_{clx_3} + F_{dx_3} + R_{K_{z_3}} + N_{cbx_3}^{cl}) \\
 \dot{\theta} = \frac{1}{mv} (P_{y_3} + X_{y_3} + F_{msy_3} + F_{Xy_3} + Q_{y_3} + F_{cly_3} + F_{dy_3} + R_{K_{z_3}} + N_{cby_3}^{cl}) \\
 \dot{\eta} = -\frac{1}{mv \cos \theta} (P_{z_3} + X_{z_3} + F_{msz_3} + F_{Xz_3} + Q_{z_3} + F_{clz_3} + F_{dz_3} + R_{K_{z_3}} + N_{cbz_3}^{cl}) \\
 \dot{\omega}_{x_1} = \frac{\sum M_{x_1}}{J_x} + \frac{(J_y - J_z)}{J_x} \omega_{y_1} \omega_{z_1} \\
 \dot{\omega}_{y_1} = \frac{1}{J_y} \{ \sum M_{y_1} + (J_z - J_x) \omega_{x_1} \omega_{z_1} \} \\
 \dot{\omega}_{z_1} = \frac{1}{J_z} \{ \sum M_{z_1} + (J_x - J_y) \omega_{x_1} \omega_{y_1} \} \\
 \dot{\xi} = \omega_{y_1} \sin \gamma + \omega_{z_1} \cos \gamma \\
 \dot{\psi} = \frac{1}{\cos \xi} (\omega_{y_1} \cos \gamma - \omega_{z_1} \sin \gamma) \\
 \dot{\gamma} = \omega_{x_1} - \operatorname{tg} \xi (\omega_{y_1} \cos \gamma - \omega_{z_1} \sin \gamma) \\
 \dot{x} = v \cos \theta \cos \eta \\
 \dot{y} = v \sin \theta \\
 \dot{z} = -v \cos \theta \sin \eta
 \end{array} \right. \quad (3)$$

Khi chuyển động trong ống phóng, hệ thống lực tác dụng lên đạn tên lửa [1, 3], bao gồm: Lực đẩy của động cơ tên lửa \overline{P} ; lực khóa hãm $\overline{R_K}$; lực xiết rãnh xoắn $\overline{F_X}$ (đối với đạn tên lửa quay chậm nhờ chốt dẫn); các lực do ống phóng cong cục bộ, cong toàn phần, do đạn mất cân bằng tĩnh, mất cân bằng động $N_{cbx_3}^{cl}$; lực ma sát $\overline{F_{ms}}$; lực do dao động của bệ phóng gây ra $\overline{F_d}$; trọng lực \overline{Q} ; lực khí động \overline{X} ; lực quán tính Coriolis do sự phụt khí; lực quán tính Coriolit do trái đất quay $\overline{F_{cl}}$ và lực Magnus $\overline{F_{Mag}}$; chúng được xác định trong hệ tọa độ quỹ đạo $Ox_3y_3z_3$. Tuy nhiên, với đạn tên lửa thì các lực quán tính Coriolis và lực Magnus có giá trị rất nhỏ, nên trong tính toán có thể bỏ qua.

$M_{x_1}, M_{y_1}, M_{z_1}$ là tổng hình chiếu của các mô men ngoại lực và lực khí động tác dụng lên đạn trên hệ trục tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$.

J_x, J_y, J_z - Các mô men quán tính chính trung tâm của đạn tên lửa lấy với các trục của hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$.

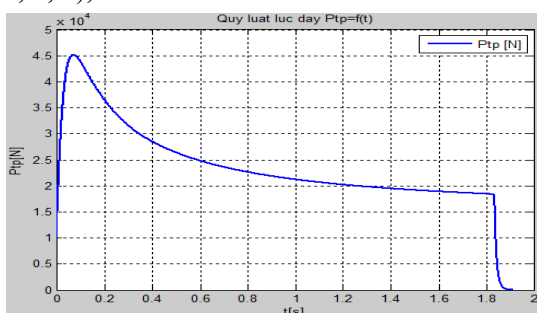
$\omega_{x_1}, \omega_{y_1}, \omega_{z_1}, \dot{\omega}_{x_1}, \dot{\omega}_{y_1}, \dot{\omega}_{z_1}$ là hình chiếu vận tốc góc và gia tốc góc chuyển động tuyệt đối của tên lửa trên hệ tọa độ liên kết $Ox_1y_1z_1$.

Kết hợp các phương trình và hệ phương trình (1), (2), (3), ta được hệ phương trình vi phân giải đồng thời bài toán thuật phóng trong với bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển.

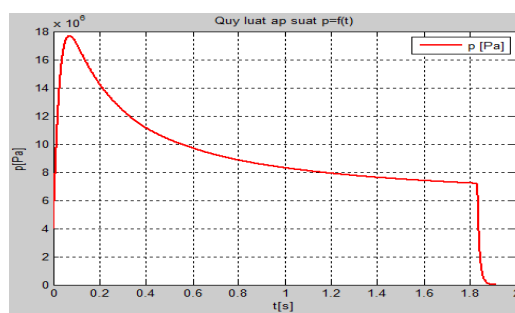
Với điều kiện tại thời điểm ban đầu: $t = t_0$; $\chi = \chi(t_0)$; $p = p(t_0) = p_{m\ddot{o}i}$; $\psi_{tp} = \psi_{tp}(t_0)$; $v = v(t_0)$; $\omega_{x1} = \omega_{x1}(t_0)$; $\omega_{y1} = \omega_{y1}(t_0)$; $\omega_{z1} = \omega_{z1}(t_0)$; $\eta = \eta(t_0)$; $\theta = \theta(t_0)$; $\psi = \psi(t_0)$; $\xi = \xi(t_0)$; $\gamma = \gamma(t_0)$; $x = x(t_0)$; $y = y(t_0)$; $z = z(t_0)$;

3.3. Giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn phản lực không điều khiển M21-OΦ

Giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa M21-OΦ theo mô hình vừa xây dựng, với số liệu đầu vào và các thông số tại thời điểm ban đầu $t = t_0 = 0$ theo [4, 5, 6]. Hệ phương trình vi phân được giải bằng phương pháp số theo thuật toán Runge-Kutta, biến tích phân là thời gian. Kết quả giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa M21-OΦ ở góc tầm 25° , khi phóng đơn, được đưa ra ở các bảng 1, 2 và đồ thị (hình 4, 5, 6, 7), như sau:



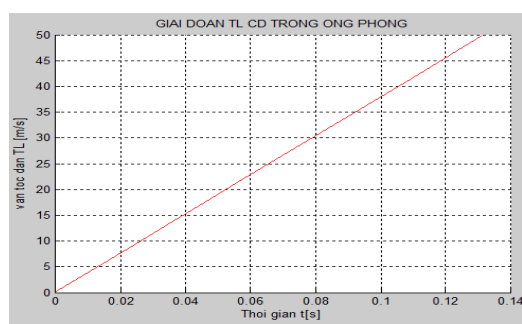
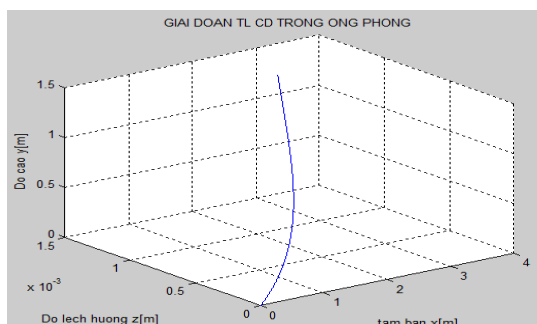
Hình 4. Đồ thị quy luật thay đổi lực đẩy theo thời gian.



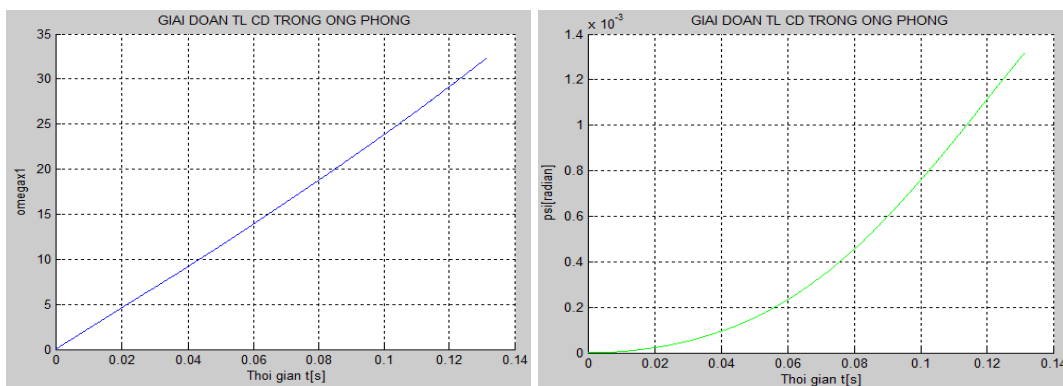
Hình 5. Đồ thị quy luật thay đổi áp suất theo thời gian.

Bảng 1. Các tham số cơ bản của bài toán TPT và so sánh với giá trị của nhà sản xuất cung cấp đối với tên lửa 9M22Y.

S TT	Các đại lượng	Đơn vị	Giá trị tính toán	Giá trị Nhà sản xuất cung cấp	Sai số giữa giá trị tính toán với Nhà sản xuất
1	Thời gian làm việc của động cơ t_c	s	1,8794	1,88	0,32%
2	Thời gian cháy của thuốc phóng t_k	s	1,8329	1,84	2,4%
3	Lực đẩy lớn nhất P_{max}	kN	45,185	45	0,411%
4	Áp suất lớn nhất p_{max}	MPa	17,688	17	4,047%



Hình 6. Quỹ đạo và vận tốc khi đạn tên lửa chuyển động trong ống phóng.



Hình 7. Vận tốc góc và quy luật thay đổi góc lệch hướng ψ của TL.

Bảng 2. Giá trị các tham số động học khi tên lửa mất liên kết với ống phóng.

Tham số	t_m [s]	$x(t_m)$ [m]	$y(t_m)$ [m]	$z(t_m)$ [m]	$\theta(t_m)$ [rad]
Giá trị	0.13142	3.000156	1.312537	0.0013285	0.406967
Tham số	$\eta(t_m)$ [rad]	$v(t_m)$ [m/s]	$\omega_{x_1}(t_m)$ [rad/s]	$\omega_{y_1}(t_m)$ [rad/s]	$\omega_{z_1}(t_m)$ [rad/s]
Giá trị	-0.00059	49.84716	32.33797	-0.13782	-0.10711
Tham số	$\xi(t_m)$ [rad]	$\psi(t_m)$ [rad]	$\gamma(t_m)$ [rad]	$\delta(t_m)$ [rad]	$\beta(t_m)$ [rad]
Giá trị	0.425849	0.0013193	2.036543	-0.002412	0.0008933

Theo kết quả tính toán và so sánh ở bảng 1, thấy rằng: sai lệch của một số tham số cơ bản giữa kết quả tính toán bài toán thuật phóng trong với giá trị của nhà sản xuất cung cấp là nhỏ và chấp nhận được, khẳng định độ tin cậy của mô hình bài toán thuật phóng trong.

- Theo đồ thị tại các hình 6, 7, thấy rằng: quỹ đạo đạn tên lửa chuyển động trong ống phóng theo các phương ox , oy , oz ; vận tốc dài v , vận tốc quay quanh trục đạn ω_{x_1} , góc lệch hướng ψ và góc quay γ của trục đạn tăng theo thời gian, đảm bảo đúng quy luật; tại miệng ống phóng: $v_m = 49.84716$ m/s; $\omega_{x_1} = 32.33797$ rad/s so với giá trị tính toán của Nhà sản xuất [5, 6]: $v_m = 47.73$ m/s; $\omega_{x_1} = 36.44256$ rad/s sai lệch lần lượt là 4.436% và 11.263%. Giá trị sai lệch tương đối nhỏ, như vậy mô hình bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa không điều khiển là đáng tin cậy.

- Tại miệng nòng, các góc: $\delta(t_m) = -0.002412$ rad; $\eta(t_m) = -0.00059$ rad, chúng đạt giá trị âm chứng tỏ hướng của véc tơ vận tốc đạn luôn gục xuống và lệch trái. Điều này giải thích lý do trong tài liệu [5] khẳng định: “Trong mọi trường hợp phải sửa một lượng sửa phụ về hướng ‘Phải’”.

- Thời gian đạn chuyển động trong ống phóng: $t_m = 0.13142$ s, theo [2], $t_m = 0.136$ s sai lệch 3.37%; kết quả trong bảng 2 là các tham số động học ban đầu để giải bài toán chuyển động không gian của đạn tên lửa không điều khiển có tính đến dao động dàn phóng.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã thành lập mô hình toán học và xây dựng chương trình tính toán bài toán thuật phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn đồng thời với bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa. Áp dụng mô hình đã xây dựng để tính toán cụ thể bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn phản lực $M-210\Phi$ do Nhà máy Z113/Tổng cục CNQP sản xuất. Trên cơ sở kết quả tính toán có thể đưa ra phương án thiết kế, chế tạo

cũng như sửa chữa tên lửa, bộ phóng, đặc biệt phục vụ trực tiếp cho quá trình giải bài toán chuyển động trong không gian và tính toán độ tản mát của đạn tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển, cũng như việc đánh giá độ chụm của đạn khi tác chiến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ môn Cơ sở bắn Khoa Vũ khí Học viện Kỹ thuật Quân sự (2003), *Giáo trình thuật phóng ngoài*, NXB Quân đội nhân dân.
- [2]. Phạm Thế Phiệt (1995), *Lý thuyết động cơ tên lửa*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [3]. Nguyễn Xuân Anh (2000), *Động lực học bộ phóng tên lửa*, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.
- [4]. Phạm Hồng Sinh (2011), *Nghiên cứu động lực học dàn phóng đặt trên xe bánh lốp*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Duy Phồn (2017), *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố nhiễu động ban đầu khi đạn tên lửa không điều khiển rời bộ phóng đến độ chính xác bắn*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội.
- [6]. M. Khalil*, H. Abdalla* and O. Kamal*, *Trajectory Prediction for a Typical Fin Stabilized Artillery Rocket*, Military Technical College, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt.
- [7]. Б.В. Орлов (1974), *Проектирование ракетных и ствольных систем*, Москва Машиностроение.

ABSTRACT

THE MATHEMATICAL MODEL DESCRIBES THE MOTION IN THE LAUNCHING TUBE OF AN UNCONTROLLED SOLID-FUEL ROCKET

This article presents a mathematical model describing motion in the launch tube of the unguided solid-fuel rocket, from firing until the mechanical link with the launching tube disappeared, taking into account the gap between the rocket and the launching tube, slow rotation of missiles ... The model is calculated for the 9M-22Y missile produced by the Z113 Factory/General Department of Defense Industry. This is the scientific basis for studying the effect of the oscillation of the vertical axis of bullet in this period on the movement of the rockets in space.

Keywords: Unguided rocket; Solid propellant; Mropulsive force; Pressure.

*Nhận bài ngày 01 tháng 7 năm 2018
Hoàn thiện ngày 10 tháng 9 năm 2018
Chấp nhận đăng ngày 20 tháng 9 năm 2018*

Địa chỉ: Học viện Kỹ thuật quân sự.

* Email: anhmien125@gmail.com.