

# KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA TỐC ĐỘ QUAY CHẬM ĐẾN CÁC THÔNG SỐ ĐỘNG HỌC KHI ĐẠN TÊN LỬA ỔN ĐỊNH CÁNH BAY TRÊN QUỸ ĐẠO

EXAMINING THE SLOW SPIN SPEED EFFECT OF THE ROCKET ON KINETIC PARAMETERS WHEN THE ROCKET STABILIZES WINGS ON TRAJECTORY

Lê Minh Thái, Nguyễn Văn Dũng, Hoàng Khắc Miên  
Học viện Kỹ thuật Quân sự

## TÓM TẮT

*Bài báo trình bày mô hình toán học mô tả chuyển động trong không gian của tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển từ khi mất liên kết cơ học với ống phóng đến khi chạm mục tiêu và khảo sát ảnh hưởng của tốc độ quay chậm đến các tham số động học khi đạn bay trên quỹ đạo. Sử dụng mô hình này để khảo sát đối với đạn phản lực 9M-22Y, do Nhà máy Z113, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng sản xuất. Kết quả thu được là cơ sở khoa học để đưa ra giải pháp tăng độ ổn định chuyển động, độ chính xác bắn và độ chụm cho đạn tên lửa không điều khiển.*

**Từ khóa:** Tên lửa không điều khiển; Tốc độ quay; Lực đẩy; Quỹ đạo.

## ABSTRACT

*This article presents a mathematical model describing the space motion of the unguided solid-fuel rocket, from the loss of mechanical link with the launching tube to the target. Farther more, we examine the spin speed effect of the rocket on kinetic parameters when the missile flies on the orbit. This model is used to survey the 9M-22Y missile produced by the Z113 Factory/General Department of Defense Industry. The received results are the scientific bases to provide many solutions for increasing motion stability, firing accuracy and reducing scatter for uncontrol missiles.*

**Keywords:** Unguided rocket; Spin speed, Mropulsive force, Trajectory.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Do công nghệ chế tạo và liên kết lắp ghép giữa các chi tiết, bộ phận tạo thành một tên lửa hoàn chỉnh là không tuyệt đối chính xác, làm ảnh hưởng đến tính đối xứng và sự đồng trục của các chi tiết trên đạn. Sự mất đối xứng và sự không đồng trục đó sẽ làm ảnh hưởng đến quy luật chuyển động của đạn trong không khí, chính vì vậy mà các nhà khoa học tên lửa đã đưa ra phương án tạo chuyển động quay chậm cho đạn tên lửa ổn định cánh trên suốt quỹ đạo bay, nhằm đảm bảo các chi tiết, bộ phận trên tên lửa luôn đồng trục trong quá trình chuyển động không gian, do đó làm tăng độ ổn định chuyển động cho đạn, tăng độ chính xác bắn [1], [3].

Bài báo khảo sát ảnh hưởng của thông số vận tốc góc đến các tham số chuyển động của đạn thông qua giải hệ phương trình vi phân chuyển động tổng quát mô tả chuyển động không gian đối với một loại đạn tên lửa không điều khiển cụ thể.

**2. GIẢ THIẾT VÀ HỆ TỌA ĐỘ**

**Các giả thiết:**

Khi giải bài toán chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa, sử dụng các giả thiết sau: 1) Trái đất phẳng và không quay, gia tốc trọng trường có hướng và giá trị không đổi; 2) Vị trí trong không gian của đạn như vật thể tự do được xác định bằng ba tọa độ xác định vị trí khối tâm và ba góc xác định chuyển động quay đối với các trục tọa độ; 3) Coi vị trí trọng tâm và khối lượng của đạn là không đổi; 4) Các giả thiết của bài toán thuật phóng trong động cơ tên lửa nhiên liệu rắn theo [2].

**Các hệ tọa độ và mối quan hệ giữa chúng:**

Để nghiên cứu quá trình chuyển động của đạn tên lửa không điều khiển chịu sức hút của trái đất, sử dụng hai nhóm hệ tọa độ: Hệ tọa độ cố định và hệ tọa độ động, đồng thời xác định các góc quay liên hệ các hệ tọa độ được trình bày cụ thể trong tài liệu [4].

**3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN CHUYỂN ĐỘNG TỔNG QUÁT CỦA TÊN LỬA TRONG KHÔNG GIAN**

**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]:

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

Trong đó:  $\psi_{\text{tp}}$  - Lượng thuốc phóng cháy trong đối; S - Diện tích bề mặt cháy; u - Tốc độ cháy của thuốc phóng;  $\rho_T$  - Mật độ thuốc phóng;  $\omega_T$  - Khối lượng thuốc phóng;  $\varphi_2$  - Hệ số tổn thất lưu lượng;  $K_0(k)$  - Hàm chi số mũ đoạn nhiệt; p - Áp suất khí thuốc trong buồng đốt; - 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;  $F_{\text{th}}$  - Diện tích tiết diện tới hạn của loa phụt;  $f_0$  - Lực thuốc phóng đẳng áp;

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 không gian 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 vi phân (3) mô tả chuyển động của đạn tên lửa trong không gian, như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{v} &= \frac{1}{m} (P_{x_3} + X_{x_3} + F_{mag_{x_3}} + Q_{x_3} + F_{cl_{x_3}}) \\ \dot{\theta} &= \frac{1}{mv} (P_{y_3} + X_{y_3} + F_{mag_{y_3}} + Q_{y_3} + F_{cl_{y_3}}) \\ \dot{\eta} &= -\frac{1}{mv \cos \theta} (P_{z_3} + X_{z_3} + F_{mag_{z_3}} + Q_{z_3} + F_{cl_{z_3}}) \\ \dot{\omega}_{x_1} &= \frac{\sum M_{x_1}}{J_x} + \frac{(J_y - J_z)}{J_x} \omega_{y_1} \omega_{z_1} \\ \dot{\omega}_{y_1} &= \frac{1}{J_y} \{ \sum M_{y_1} + (J_z - J_x) \omega_{x_1} \omega_{z_1} \} \\ \dot{\omega}_{z_1} &= \frac{1}{J_z} \{ \sum M_{z_1} + (J_x - J_y) \omega_{x_1} \omega_{y_1} \} \\ \dot{\xi} &= \omega_{y_1} \sin \gamma + \omega_{z_1} \cos \gamma \\ \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \xi} (\omega_{y_1} \cos \gamma - \omega_{z_1} \sin \gamma) \\ \dot{\gamma} &= \omega_{x_1} - tg \xi (\omega_{y_1} \cos \gamma - \omega_{z_1} \sin \gamma) \\ \dot{x} &= v \cos \theta \cos \eta \\ \dot{y} &= v \sin \theta \\ \dot{z} &= -v \cos \theta \sin \eta \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Khi chuyển động trong không gian, hệ thống lực tác dụng lên đạn tên lửa [1, 3], bao gồm: Lực đẩy của động cơ tên lửa  $\overline{P}$ ; 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

$Ox_1y_1z_1$ . 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  $Ox_1y_1z_1$ .

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

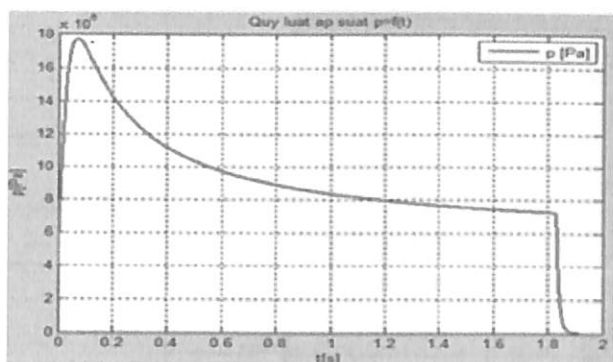
$\omega_{x_1}, \omega_{y_1}, \omega_{z_1}, \dot{\omega}_{x_1}, \dot{\omega}_{y_1}, \dot{\omega}_{z_1}$  là hình chiếu vận tốc góc và gia tốc góc chuyển động tuyệt đối của tên lửa trên hệ tọa độ liên kết  $Ox_1y_1z_1$ .

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

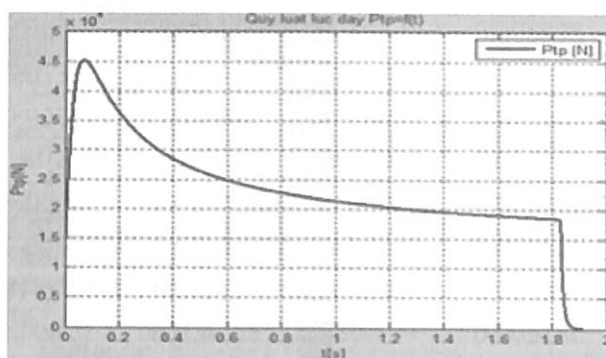
Với điều kiện tại thời điểm ban đầu, đạn rời miệng ống phóng:  $t = t_m; \chi = \chi(t_m); p = p(t_m) = p_m; \psi_{tp} = \psi_{tp}(t_m); v = v(t_m); \omega_{x_1} = \omega_{x_1}(t_m) = [0 \div 60] rad/s; \omega_{y_1} = \omega_{y_1}(t_m); \omega_{z_1} = \omega_{z_1}(t_m); \eta = \eta(t_m); \theta = \theta(t_m); \psi = \psi(t_m); \xi = \xi(t_m); \gamma = \gamma(t_m); x = x(t_m); y = y(t_m); z = z(t_m);$

**3.3. Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ quay đến các thông số động học khi đạn tên lửa M21-OΦ bay trên quỹ đạo**

Giải bài toán chuyển động trong không gian 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  $t = t_m$  theo [4, 5, 6] và bảng 2. 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 không gian của đạn tên lửa M21-OΦ ở góc tầm 22°, phóng đơn, được đưa ra ở các bảng 1, 3 và đồ thị (Hình 1, 2, 3), như sau:



Hình 1. Đồ thị quy luật thay đổi áp suất theo thời gian



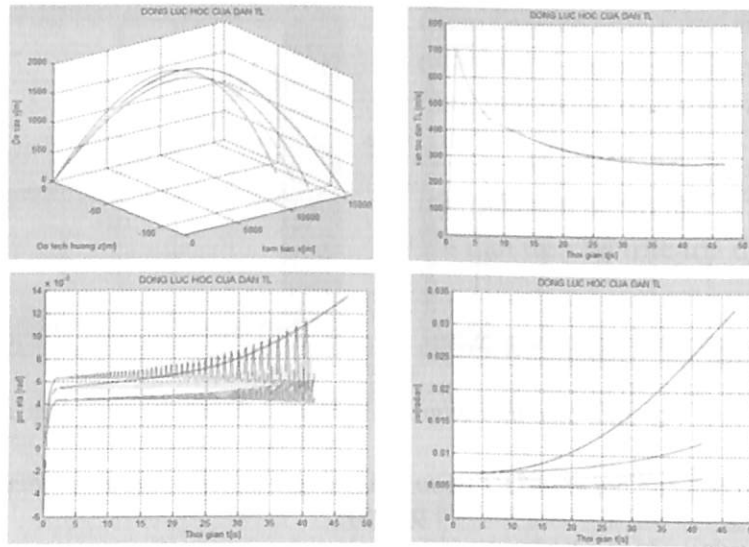
Hình 2. Đồ thị quy luật thay đổi lực đẩy theo thời gian

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:

STT	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%

Bảng 2. Giá trị các tham số động học khi tên lửa mất liên kết với ống phóng thông qua việc giải hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động trong ống phóng của đạn tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển, góc tầm  $\varphi = 22^\circ$

<b>Tham số</b>	$t_m$ [s]	$x(t_m)$ [m]	$y(t_m)$ [m]	$z(t_m)$ [m]	$\theta(t_m)$ [rad]
<b>Giá trị</b>	0.12987	3.00005	1.130077	0.0013561	0.354857
<b>Tham số</b>	$\eta(t_m)$ [rad]	$v(t_m)$ [rad]	$\omega_{x1}(t_m)$ [rad]	$\omega_{y1}(t_m)$ [rad]	$\omega_{z1}(t_m)$ [rad]
<b>Giá trị</b>	-0.000597	49.38106	0 ÷ 60	-0.13318	-0.11493
<b>Tham số</b>	$\xi(t_m)$ [rad]	$\psi(t_m)$ [rad]	$\gamma(t_m)$ [rad]	$\delta(t_m)$ [rad]	$\beta(t_m)$ [rad]
<b>Giá trị</b>	0.373610	0.0012640	1.987698	-0.002352	-0.00010028



$\omega = 0; \quad \omega = 20; \quad \omega = 40; \quad \omega = 60$

Hình 3. Quy luật thay đổi theo thời gian của các tham số động học:  $x, y, z, \eta$  và  $\psi$  khi thay đổi tốc độ góc quay quanh trục đạn, góc phóng:  $\varphi = 22^\circ$

Bảng 3. Kết quả tính toán các tham số động học cơ bản của đạn TL M-210Φ bay trong không gian khi thay đổi tốc độ góc  $\omega_{x1}$ , góc phóng:  $\varphi = 22^\circ$

Tham số		t [s]	x(t) [m]	y(t) [m]	z(t) [m]	v(t) [m/s]	θ(t) [rad]
ω = 0	v <sub>max</sub>	1.83987	533.6095	195.4798	-2.39133	704.6824	0.353892
	y <sub>max</sub>	21.25987	8587.616	1931.913	-50.3696	322.2444	-9.13E-05
	x <sub>max</sub>	47.21987	15687.88	-0.88094	-116.182	278.0059	-0.50306
ω = 20	v <sub>max</sub>	1.83987	533.6571	195.3428	-2.8479	704.6827	0.353313
	y <sub>max</sub>	19.45987	8025.438	1812.474	-51.0853	335.3543	-0.000012
	x <sub>max</sub>	41.74987	14369.88	-0.45685	-94.499	290.059	-0.54598
ω = 40	v <sub>max</sub>	1.83987	533.6581	195.348	-2.38055	704.6823	0.353431
	y <sub>max</sub>	19.42987	8015.172	1813.055	-43.5566	335.5254	-7.66E-05
	x <sub>max</sub>	41.75987	14372.04	-1.07386	-80.1243	290.0565	-0.5488
ω = 60	v <sub>max</sub>	1.83987	533.6591	195.353	-1.87016	704.6825	0.353466
	y <sub>max</sub>	19.41987	8011.816	1813.128	-35.0346	335.5861	-8.17E-05
	x <sub>max</sub>	41.75987	14372.08	-1.03239	-64.4746	290.057	-0.5497
		t [s]	η(t) [rad]	δ (t) [rad]	β (t) [rad]	γ(t) [rad]	ψ(t) [rad]
ω = 0	v <sub>max</sub>	1.83987	0.005433	-1.7E-05	0.001324	1.511023	0.006973
	y <sub>max</sub>	21.25987	0.006722	0.001263	0.025018	1.510872	0.01108
	x <sub>max</sub>	47.21987	0.013562	-0.00127	0.058699	1.564995	0.03256

$\omega = 20$	$v_{max}$	1.83987	0.006308	-0.00071	-0.00115	35.54847	0.006978
	$y_{max}$	19.45987	0.006657	-0.01320	0.021273	247.1485	0.00793
	$x_{max}$	41.74987	0.006797	-0.02717	0.056637	372.6083	0.012165
$\omega = 40$	$v_{max}$	1.83987	0.005403	0.001345	2.77E-05	69.10921	0.005972
	$y_{max}$	19.42987	0.005508	-0.00489	0.024438	491.8455	0.006443
	$x_{max}$	41.75987	0.005754	-0.02834	0.056403	743.3338	0.008568
$\omega = 60$	$v_{max}$	1.83987	0.004336	-0.00075	0.001114	102.67	0.004869
	$y_{max}$	19.41987	0.004435	0.00422	0.024558	736.539	0.005186
	$x_{max}$	41.75987	0.004586	-0.02611	0.057319	1114.01	0.006608

Theo đồ thị tại các hình 1, 2 và bảng 1, đưa ra nhận xét: Quy luật thay đổi theo thời gian của áp suất trong buồng đốt và lực đẩy động cơ đảm bảo đúng quy luật [2].

Theo các đồ thị tại hình 3 và bảng 3, thấy rằng: Khi bắn đạn TL không có chuyển động quay quanh trục dọc, thời gian và các tham số động học của đạn đạt giá trị lớn nhất so với khi đạn có chuyển động quay, đặc biệt là tầm bắn, độ cao quỹ đạo và độ lệch hướng điềm chậm.

Khi bắn đạn TL có chuyển động quay chậm quanh trục dọc với vận tốc quay tăng lên, thấy rằng: Vận tốc đạn tại thời điểm thuốc phóng cháy hết thay đổi rất bé; tổng thời gian bay của đạn khác nhau một lượng rất nhỏ; tầm bắn, độ cao quỹ đạo chênh lệch không nhiều, cỡ vài mét, biên độ của góc đảo  $\psi$  và góc lệch  $\eta$  giảm dần, góc quay quỹ đạo  $\gamma$  tăng. Tuy nhiên, độ lệch hướng điềm chậm giảm một lượng lớn, cỡ vài chục mét, như vậy khi tăng vận tốc quay chậm của đạn sẽ tăng độ chụm cho phát bắn, phù hợp với khẳng định trong tài liệu [3], [6]. Từ kết quả khảo sát, có thể đưa ra biện pháp tạo chuyển động quay chậm cho tên lửa ổn định cánh với giá trị vận tốc quay phù hợp, nhằm tăng độ chụm, độ chính xác bắn.

#### 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 không gian của đạn tên lửa. Sử dụng mô hình đã xây dựng để tính toán và khảo sát ảnh hưởng của tốc độ quay chậm đến các thông số chuyển động không gian khi bắn đạn phản lực M-210Ф. Kết quả bài báo có tính chất dự báo và là cơ sở khoa học dùng làm tham khảo cho việc đưa ra phương án thiết kế, chế tạo cũng như sửa chữa tên lửa, bộ phóng, đặc biệt phục vụ trực tiếp cho nhiệm vụ nghiên cứu giải pháp tăng độ ổn định, độ chính xác bắn và độ chụm cho đạn tên lửa không điều khiển ổn định cánh. ❖

Ngày nhận bài: 10/8/2018

Ngày phản biện: 20/8/2018

#### 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*, NXB. Quân đội Nhân dân.
- [4]. Lê Minh Thái, Nguyễn Văn Dũng, Hoàng Khắc Miện (2018); *Mô hình bài toán mô tả chuyển động trong ống phóng của tên lửa nhiên liệu rắn không điều khiển*, Kỳ yếu Hội nghị Quốc gia “Ứng dụng công nghệ cao vào thực tiễn 2018”, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Duy Phôn (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 Elkobbeh, Cairo, Egypt.
- [7]. Б.В. Орлов (1974), *Проекмирование ракетных и ствольных систем*, Москва Машиностроение.