NGHIÊN CỨU THUẬT PHÓNG TRONG CỦA DAO – SÚNG KẾT HỢP TRÊN CƠ SỞ TIẾP CẬN LÝ THUYẾT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Nguyễn Văn Hưng*

Tóm tắt: *Bài báo trình bày cách tiếp cận lý thuyết nhiệt động lực học để xây dựng mô hình thuật phóng trong của dao – súng kết hợp. Mô hình được áp dụng để tính toán đối với một mẫu dao – súng bắn đạn .22LR (5.6x15 mmR). Kết quả tính toán của mô hình này được so sánh với kết quả tính toán theo phương pháp truyền thống (sai số về áp suất cực đại là 2,6%, và sơ tốc là 0,7%) để đánh giá độ tin cậy của mô hình.*

Từ khóa: Nhiệt động lực học; Thuật phóng trong; Dao – súng kết hợp; Đạn .22LR (5,6x15mm).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dao kết hợp với súng (Dao - súng) là một loại vũ khí nhỏ gọn được trang bị cho các lượng lượng làm nhiệm vụ đặc biệt được sử dụng rộng rãi ở Nga, Mỹ và nhiều nước khác trên thế giới. Chủng loại và mẫu mã của các loại Dao – súng cũng rất đa dạng: có loại chỉ nạp từng viên đạn, có loại nạp nhiều viên đạn, có tích hợp nòng ở lưỡi dao, có loại tích hợp nòng ở chuôi Dao,… (hình 1) [1-4]. Tuy nhiên, trong Quân đội chưa được trang bị loại vũ khí này. Trong quá trình tính toán thiết kế Dao – súng bắt buộc phải nghiên cứu thuật phóng trong.



a) *b)* *c)* *d)* *e)*

Hình 1. *Một số loại Dao – súng trên thế giới:*
a) Dao – súng Elgin Cutlass (Mỹ - 1837); b) Dao – súng NRS-2 (Nga - 1983);
c) Dao – súng Apache (Bỉ - 1869); d) Dao – súng RS-1 (GRAD - 1990);
e) Dao – súng PKP (.22; .45ACP).

Thuật phóng trong là bài toán cơ bản khi tính toán thiết kế vũ khí và có nhiều cách tiếp cận khác nhau để giải quyết bài toán này. Phổ biến nhất hiện nay vẫn là phương pháp tiếp cận theo lý thuyết thuật phóng trong thông thường của súng pháo [5]. Tuy nhiên, xu thế hiện nay trên thế giới thường tiếp cận bài toán thuật phóng trong dựa trên lý thuyết nhiệt động lực học [6].

Trong bài báo này, các tác giả sẽ sử dụng nguyên lý thứ nhất của hệ nhiệt động lực mở, kết hợp với lý thuyết nhiệt động lực học và phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng để nghiên cứu bài toán thuật phóng trong của Dao – súng, làm cơ sở để tính toán thiết kế Dao – súng. Kết quả tính toán của hai phương pháp này sẽ được so sánh với nhau để đánh giá sự phù hợp của phương pháp tiếp cận nhiệt động lực học so với phương pháp truyền thống.

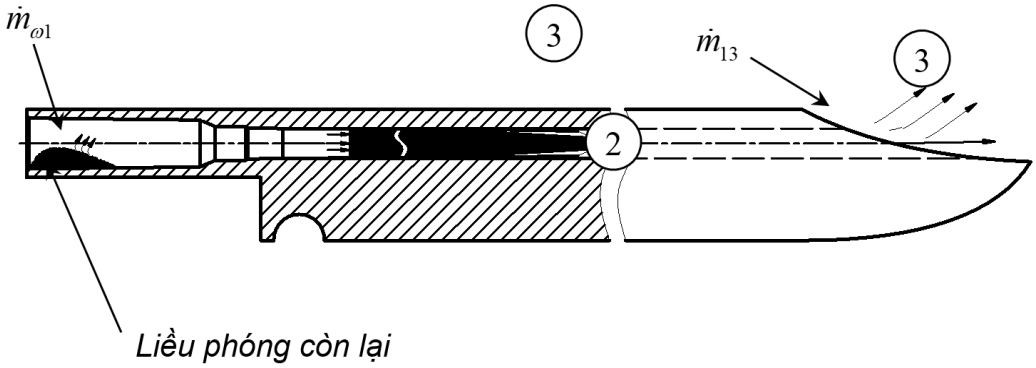
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

Để xây dựng mô hình thuật phóng trong của Dao – súng ta sử dụng các giả thiết sau:

- Mồi cháy liều phóng xảy ra tức thì và thuốc phóng cháy theo quy luật hình học. Hỗn hợp khí thuốc phân bố đều trong thể tích sau đáy đạn;
- Bỏ qua thời kỳ tống đạn, tức là đạn bắn đầu chuyển động khi áp suất trong lòng nòng bằng áp suất tống đạn;
- Coi dòng chảy khí thuốc qua các khoang (sẽ trình bày tại mục 2.2) là dòng một pha, tức là bỏ qua các hạt thuốc phóng chưa cháy hết và tạp chất. Đồng thời, coi khí thuốc là dòng khí thực.

Dựa trên các giả thiết trên, mô hình nhiệt động lực học trong lòng nòng của Dao – súng được xây dựng như hình 2. Trong đó, các khoang làm việc được ký hiệu như sau:

- Khoang 1: Vùng không gian phía sau đáy đầu đạn trong lòng nòng;
- Khoang 2: Vùng không gian phía trước đầu đạn trong lòng nòng;
- Khoang 3: Môi trường xung quanh phát bắn.



Hình 2. *Mô hình nhiệt động lực học trong lòng nòng.*

Các biến cần xác định bao gồm:

- Các tham số ở khoang 1: Áp suất (p_1), nhiệt độ (T_1), thể tích (V_1), khối lượng khí (m_1), entanpi riêng (h_1).

- Quãng đường chuyển động (x_d) và vận tốc của đầu đạn (v_d).

Xét hệ nhiệt động lực học (NĐLH) mở khoang 1 ta có:

$$\frac{dQ_1}{dt}+\sum_{i=0}^{n}\frac{dH_{1i}}{dt}=\frac{dU_1}{dt}+\frac{d\mathrm{W}_1}{dt} \tag{1}$$

Trong đó: Q_1 - Nhiệt lượng của hệ NĐLH khoang 1; U_1 - Nội năng của hệ NĐLH khoang 1; W_1 - Công sinh ra của hệ NĐLH khoang 1; $\sum_{i=0}^{n}\frac{dH_{1i}}{dt}$ - Lưu lượng entanpi trao đổi với hệ NĐLH khoang 1 và:

$$\sum_{i=0}^{n}\frac{dH_{1i}}{dt}=\dot{m}_{\omega 1}h_{\omega}-\dot{m}_{13}h_1-\dot{m}_{12}h_1 \tag{2}$$

với $h_{\omega}=C_p.T_v$ và $h_1=C_p.T_1$.

Trong đó: $\dot{m}_{\omega 1}$ - Lưu lượng khí thuốc sinh ra do quá trình cháy liều phóng; $\dot{m}_{12}$ - Lưu lượng khí thuốc phụt từ lòng nòng sang khoang 2; $\dot{m}_{13}$ - Lưu lượng khí thuốc phụt qua miệng nòng khi viên đạn rời khỏi miệng nòng (thời kỳ tác dụng sau cùng của khí thuốc); C_p - Nhiệt dung riêng đẳng áp của khí thuốc; T_v - Nhiệt độ cháy của thuốc phóng.

Nội năng của hệ được tính như sau:

$$\frac{dU_1}{dt} = \frac{d\left(u_1.m_1\right)}{dt} = m_1.\frac{du_1}{dt} + u_1.\frac{dm_1}{dt} \tag{3}$$

Trong đó: u_1 - Nội năng riêng của hệ NĐLH khoang 1; $u_1 = \frac{U_1}{m_1} = C_V.T_1$ với C_V là nhiệt dung riêng đẳng tích của khí thuốc.

Công sinh ra làm thay đổi thể tích buồng khí để gây ra độ dịch chuyển của đầu đạn được tính như sau:

$$\frac{d\mathrm{W}_1}{dt} = p_1.\frac{dV_1}{dt} \tag{4}$$

Thay (2), (3), (4) vào (1), ta được:

$$\frac{dQ_1}{dt} + \dot{m}_{\omega 1}C_p.T_v - \dot{m}_{13}C_p.T_1 - \dot{m}_{12}C_p.T_1 = m_1.\mathrm{C}_v.\frac{dT_1}{dt} + C_v.\mathrm{T}_1.\frac{dm_1}{dt} + p_1.\frac{dV_1}{dt} \tag{5}$$

Tiếp theo tiến hành xác định các lưu lượng phụt khí: $\dot{m}_{\omega 1}$, $\dot{m}_{13}$

** Xác định lưu lượng khí thuốc sinh ra từ thuốc phóng cháy* $\dot{m}_{\omega 1}$

Nếu ký hiệu V là thể tích tức thời của liều thuốc, ω_0 là khối lượng ban đầu của thuốc phóng, ω là khối lượng tức thời của thuốc phóng và là ρ_t khối lượng riêng của thuốc phóng thì ta có:

$$\begin{cases} \dot{m}_{\omega 1} = -\dfrac{d\omega}{dt} \\ \omega = \rho_t.V \end{cases} \tag{6}$$

Để tính $\frac{dV}{dt}$ ta sử dụng các phương trình trong quy luật sinh khí và quy luật thay đổi bề mặt cháy của thuốc phóng. Theo đó, nếu gọi V_0 là thể tích ban đầu của liều thuốc thì lượng thuốc phóng đã cháy tương đối sẽ là:

$$\psi = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} \quad \text{hay} \quad \frac{dV}{dt} = -V_0.\frac{d\psi}{dt} \tag{7}$$

Do đã giả thiết thuốc phóng cháy theo quy luật hình học nên:

$$\psi = k_1 z + k_2 z^2 + k_3 z^3 \tag{8}$$

Từ (8), (9) ta được:

$$\frac{d\psi}{dt} = \left(k_1 + 2k_2 z + 3k_3 z^2\right)\frac{dz}{dt} = \phi(z).\frac{dz}{dt} \tag{9}$$

với $\phi(z) = \left(k_1 + 2k_2 z + 3k_3 z^2\right)$.

Mặt khác theo [7], ta có:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{f(p_1)}{I_k} \tag{10}$$

với $f(p_1)$ là hàm biểu diễn sự phụ thuộc của tốc độ cháy vào áp suất môi trường cháy của từng hạt thuốc phóng. Kết hợp (6) (7), (9), (10) ta được:

$$\dot{m}_{\omega 1} = \rho V_0 . \phi(z) . \frac{f(p)}{I_k} = \omega_0 . \phi(z) . \frac{f(p)}{I_k} \tag{11}$$

** Xác định lưu lượng khí* $\dot{m}_{12}$, $\dot{m}_{13}$

Xét trường hợp tổng quát dòng khí phụt từ khoang i sang khoang j. Trong đó, dòng khí trước cửa lỗ phụt khoang i có các đặc trưng: thể tích riêng v_i, áp suất p_i, entanpi riêng h_i và nhiệt độ T_i. Tương tự, các thông số tại khoang j gồm: thể tích riêng v_j, áp suất p_j, entanpi riêng h_j và nhiệt độ T_j. Theo tài liệu [7], lưu lượng phụt khí từ khoang i sang khoang j được xác định theo công thức:

$$\dot{m}_{\text{ij}} = \mu_{\text{ij}} . \frac{A_{\text{ij}} . \upsilon_{\text{ij}}}{v_i} \tag{12}$$

Trong đó: $\dot{m}_{\text{ij}}$ - Lưu lượng khí thuốc phụt từ khoang i sang khoang j; A_{ij} - Tiết diện nhỏ nhất của lỗ phụt từ khoang i sang khoang j; μ_{ij} - Hệ số tổn thất dòng chảy; υ_{ij} - Tốc độ phụt khí của dòng khí.

Tốc độ phụt khí của dòng khí chỉ nhận một trong hai giá trị sau [8]:

- Nếu dòng chảy không tới hạn thì:

$$\vec{v}_{\text{ij}} = \sqrt{2\left(h_i - h_j\right)} = \sqrt{2C_p\left(T_i - T_j\right)} \tag{13}$$

- Nếu dòng chảy tới hạn thì nó chính bằng vận tốc âm thanh (a_s):

$$\upsilon_{\text{ij}} = a_s \tag{14}$$

Đối với mỗi loại khí, tốc độ âm thanh là khác nhau [5]. Với dòng chảy khí hai pha như CO_2, N_2, N_2O thì việc tích tốc độ âm thanh là cô cùng phức tạp. Bằng giả thiết dòng chảy khí thuốc là khí một pha (bỏ qua các hạt khí thuốc chưa cháy hết và tạp chất), theo [9] ta có thể tích vận tốc âm thanh theo công thức:

$$a_s = \frac{v}{v - \alpha} . \sqrt{\gamma RT} \tag{15}$$

Trong đó: α - Lượng cộng tích của khí thuốc; R - Hằng số khí; $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ là tỷ số nhiệt dung riêng.

Như vậy, giá trị tốc độ dòng chảy từ khoang i sang khoang j như sau:

$$\vec{v}_{ij} = \min\left\{\sqrt{2C_p\left(T_i - T_j\right)}; \frac{v_i}{v_i - \alpha}.\sqrt{\gamma RT}\right\} \quad (16)$$

** Xây dựng phương trình thay đổi nhiệt độ trong lòng nòng* $\frac{dT_1}{dt}$

Độ biến thiên khối lượng khí trong lòng nòng theo thời gian bằng hiệu giữa khối lượng khí sinh ra do thuốc phóng cháy và tổng các tổn thất khí qua khe hở:

$$\frac{dm_1}{dt} = \dot{m}_{\omega 1} - \left(\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13}\right) \quad (17)$$

Mặt khác, ta có sự biến thiên thể tích sau đáy đạn theo thời gian:

$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{d\left(x_d.S_d\right)}{dt} = v_d.S_d \quad (18)$$

với S_d là diện tích mặt cắt ngang lòng nòng.

Thay (17) và (18) vào (5), ta được:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{1}{m_1}\left[\frac{dQ_1}{dt}.\frac{1}{C_v} + \dot{m}_{\omega 1}\left(\gamma T_v - T_1\right) - \left(\gamma - 1\right)\left(\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13}\right)T_1 - \frac{p_1.v_d.S_d}{C_v}\right] \quad (19)$$

Trong biểu thức (19) thì tổn thất nhiệt từ khí thuốc sang thành nòng $\frac{dQ_1}{dt}$ được xác định theo công thức [5]:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\int_F \alpha_T\left(T_1 - T_{tn}\right)dF\right) = A.\sigma_T.F.\frac{1}{R}\left(1 - \frac{T_{tn}}{T_1}\right).p_1 \quad (20)$$

Trong đó: α_T - Hệ số truyền nhiệt từ khí thuốc sang thành nòng; T_{tn} - Nhiệt độ bề mặt bên trong của thành nòng; F - Diện tích thành nòng tiếp xúc với khí thuốc; σ_T - Hệ số truyền nhiệt không đổi được xác định bằng thực nghiệm; A - Hằng số được xác định bằng thực nghiệm.

Kết hợp các phương trình (11), (12), (16), (17), (18), (19), ta được hệ phương trình vi phân thuật phóng tổng quát trong lòng nòng (khoang 1).

Để hoàn thiện hệ phương trình thuật phóng, cần có thêm phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng. Hệ phương trình chuyển động của đầu đạn trong lòng nòng khi bắn trong không khí là bài toán cơ bản, được nghiên cứu trong tài liệu [5] và có dạng như sau:

$$\frac{dv_d}{dt} = \frac{S.p_1}{m_d.\left(\varphi_1 + \frac{1}{3}.\frac{\omega}{q}\right)} \quad (21)$$

Trong đó: v_d - Vận tốc đầu đạn; p_1 - Áp suất trong khoang (1); q - Trọng lượng đầu đạn; φ_1 - Hệ số; S - Diện tích tiết diện lòng nòng.

Như vậy, từ (11), (12), (16), (17), (18), (19), (20) ta sẽ tìm được hệ phương trình vi phân thuật phóng trong của Dao – súng như (22):

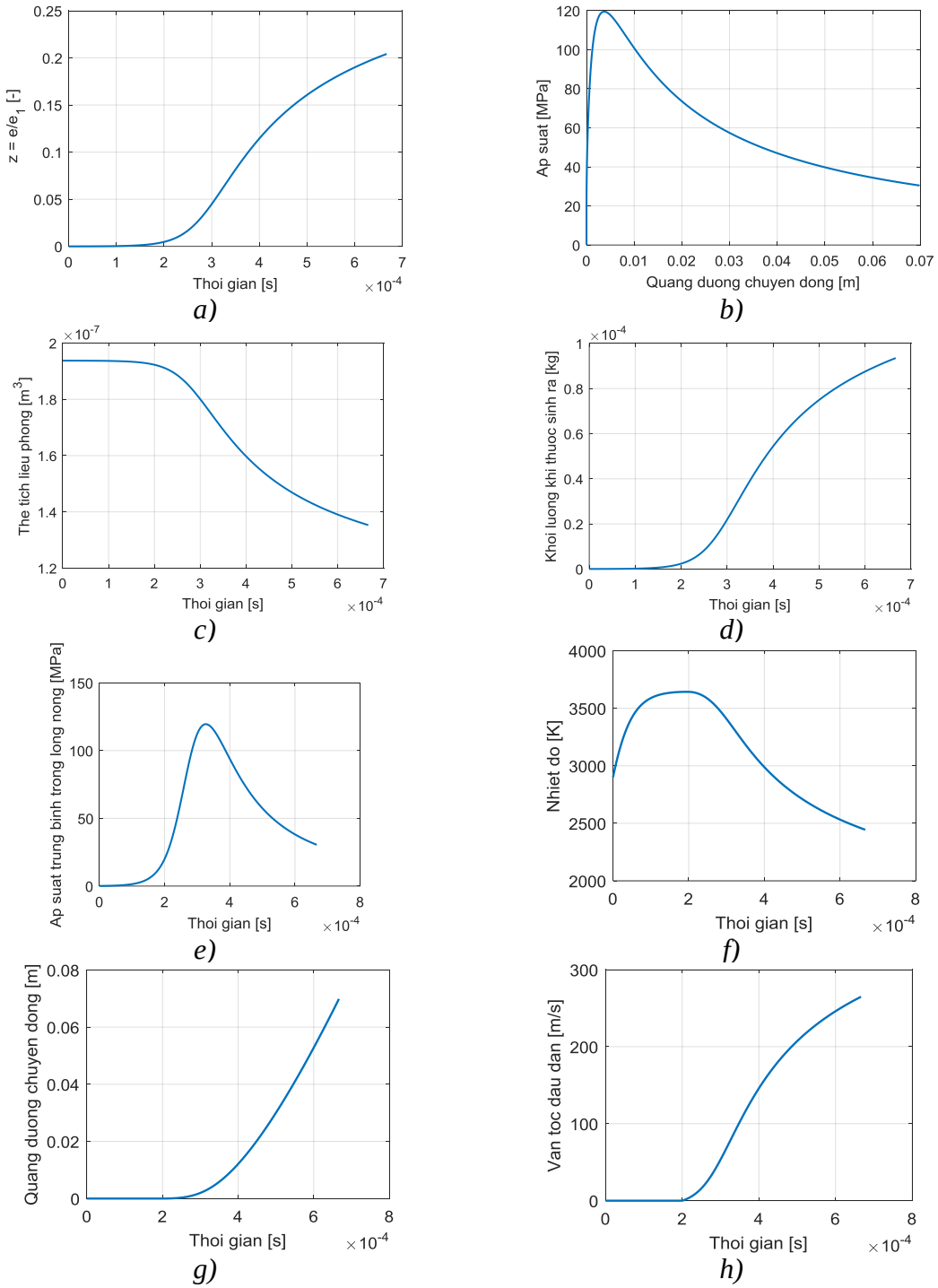
$$
\begin{cases}
\dfrac{dT_1}{dt} = \dfrac{1}{m_1}\left[\dfrac{dQ_1}{dt}.\dfrac{1}{\mathrm{C}_v} + \dot{m}_{\omega 1}\left(\gamma T_v - T_1\right) - \left(\gamma - 1\right)\left(\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13}\right)\mathrm{T}_1 - \dfrac{p_1.v_d.S_d}{C_v}\right] \\
\dfrac{dQ_1}{dt} = A.\sigma_T.F.\dfrac{1}{R}\left(1 - \dfrac{T_{tn}}{T_1}\right).p_1 \\
\dfrac{dm_1}{dt} = \dot{m}_{\omega 1} - \left(\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13}\right) \\
\dfrac{dV_1}{dt} = v_d.S_d \\
v_1 = \dfrac{V_1}{m_1}; \quad p_1 = \dfrac{RT_1}{v_1 - \alpha} \\
\dot{m}_{\omega 1} = \omega_0.\phi\left(z\right).\dfrac{f\left(p\right)}{I_k} \\
\dot{m}_{12} = \mu_{12}.\dfrac{A_{12}.\upsilon_{12}}{v_1} \\
\dot{m}_{13} = \mu_{13}.\dfrac{A_{13}.\upsilon_{13}}{v_1} \\
\upsilon_{12} = \min\left\{\sqrt{2C_p\left(T_1 - T_2\right)}; \dfrac{v_1}{v_1 - \alpha}.\sqrt{\gamma RT_1}\right\} \\
\upsilon_{13} = \min\left\{\sqrt{2C_p\left(T_1 - T_3\right)}; \dfrac{v_1}{v_1 - \alpha}.\sqrt{\gamma RT_3}\right\} \\
\dfrac{dv_d}{dt} = \dfrac{S.p_1}{m_d.\left(\varphi_1 + \dfrac{1}{3}.\dfrac{\omega}{q}\right)}
\end{cases}
\tag{22}
$$

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ THẢO LUẬN

Mô hình xây dựng ở trên được áp dụng tính toán với mẫu Dao – súng có chiều dài nòng 70 mm, bắn đạn .22LR (5.6x15 mmR) [10]. Quá trình giải được thực hiện bằng thuật giải ODE45 trong phần mềm MATLAB. Kết quả tính toán được thể hiện như bảng 1 và hình 3.

Bảng 1. *Kết quả tính toán thuật phóng trong.*

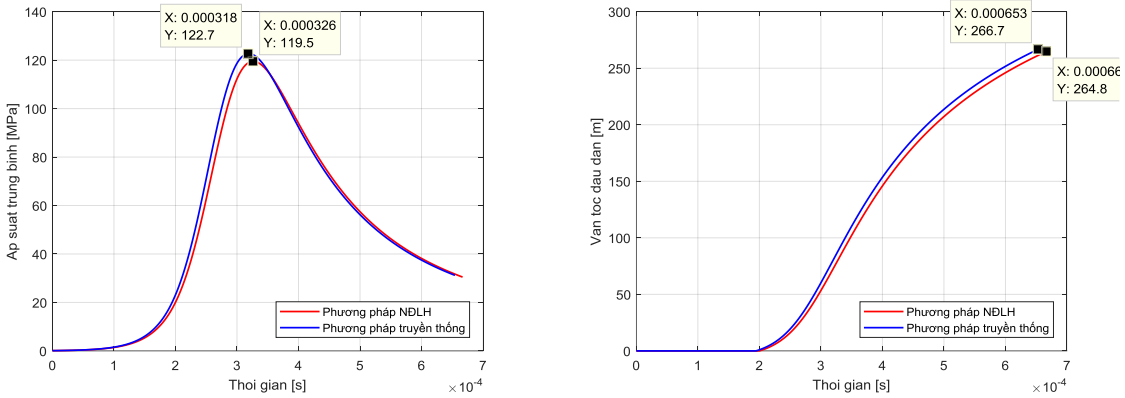
Thông số	Đơn vị	Giá trị
Áp suất lớn nhất trong lòng nòng	Mpa	119,5
Sơ tốc đầu đạn	m/s	264,8
Nhiệt độ lớn nhất trong lòng nòng	K	3643
Thời gian đầu đạn chuyển động trong lòng nòng	ms	0,67



Hình 3. *Kết quả tính toán thuật phóng trong a) Bề dày cháy tương đối của thuốc phóng theo thời gian; b) Sự thay đổi áp suất phía sau đáy đạn theo quãng đường chuyển động của đạn trong lòng dao – nòng; c) Sự thay đổi thể tích liều phóng theo thời gian; d) Sự thay đổi khối lượng khí thuốc sinh ra theo thời gian; e) Áp suất trung bình trong lòng nòng theo thời gian; f) Nhiệt độ khí thuốc theo thời gian; g) Quãng đường chuyển động của đầu đạn theo thời gian; h) Vận tốc đầu đạn theo thời gian.*

Kết quả này cho thấy, với việc tiếp cận nhiệt động lực học để giải bài toán thuật phóng trong có thể cho ta kết quả cụ thể) như bề dày cháy tương đối, thể tích liều phóng, khối lượng khí thuốc sinh ra) – những tham số mà phương pháp truyền thống ít quan tâm đến.

Hình 4 biểu thị sự sai khác về áp suất khí thuốc và vận tốc đầu đạn giữa hai mô hình: mô hình nhiệt động lực học mới được xây dựng và mô hình theo phương pháp truyền thống [5]. Kết quả này cho thấy, sai số về áp suất lớn nhất là 2,6% và sơ tốc là 0,7%. Điều đó chứng tỏ mô hình vừa xây dựng đảm bảo tin cậy và có thể áp dụng trong tính toán thiết kế Dao – súng.



a) *b)*

Hình 4. *So sánh kết quả tính toán của hai mô hình:*
a) Áp suất trung bình trong lòng nòng; b) Vận tốc đầu đạn theo thời gian.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra một phương pháp tiếp cận để nghiên cứu bài toán thuật phóng trong của dao – súng kết hợp dựa trên lý thuyết nhiệt động lực học. Kết quả tính toán, so sánh với phương pháp truyền thống cho thấy mô hình xây dựng được là tin cậy. Mô hình này không chỉ áp dụng cho dao – súng mà có thể áp dụng đối với nhiều loại vũ khí có nòng khác.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của đề tài cấp Học viện KTQS, mã số 21.DDH07.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Kinard, Jeff (2004). *"Pistols: An Illustrated History of Their Impact"*. ABC-CLIO. p. 59. ISBN 978-1-85109-470-7 (2004).

[2]. http://modernfirearms.net/en/handguns/russia-semi-automatic-pistols-nrs-2-eng/.

[3]. Scout shooting knife NRS-2 Archived 2012-10-03 at the Wayback Machine(in Russian)

[4]. Shideler, Dan. "*2008 Standard Catalog of Firearms: The Collector's Price and Reference Guide"*. Krause Publications. p. 1502. ISBN 978-0-89689-608-6 (2008).

[5]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ. "*Thuật phóng trong của súng pháo"*. Học viện Kỹ thuật Quân sự (1976).

[6]. Carlucci D. E. and Jacobson S. S. *Ballistics. "Theory and Design of Guns and Ammunition"*. S. Edition, Ed. CRC Press, ISBN: 978-1-4665-6439-8 (2014).

[7]. V. Horák and V. V. Kulish. *"Thermodynamics"*, Brno: University of Defence (2011).

[8]. V. Horák, L. Do Duc, R. Vítek, S. Beer, Q.H. Mai. *"Prediction of the Air Gun Performance"*, Advances in Military Technology. Vol. 9. No. 1 (2014).

[9]. Nguyễn Văn Hưng, *"Nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số kết cấu thiết bị trích khí đến hoạt động của máy tự động súng bắn hai môi trường"*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật quân sự (2021).

[10]. https://en.wikipedia.org/wiki/.22_Long_Rifle.

ABSTRACT

STUDY OF THE INTERNAL BALLISTIC OF THE KNIFE – GUN BASED ON THERMODYNAMIC THEORY

This paper deal with the application of thermodynamic theory in the establishment of the interior ballistic model of the knife - gun. This interior ballistic model was applied to a model of the knife–gun shooting the .22LR (5.6x15 mmR) ammo. Results of the solution are compared and validated with the results calculated by the traditional method (the error of the maximum pressure is 2.6%, and the speed is 0.7%) measured muzzle velocity and maximum pressure.

Keywords: Thermodynamic; Interior ballistic; Knife-gun; .22LR (5,6x15 mm) ammo.

Nhận bài ngày 20 tháng 7 năm 2021
Hoàn thiện ngày 21 tháng 9 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Học viện Kỹ thuật Quân sự.
*Email: hungnv_mta@mta.edu.vn.