

Xây dựng mô hình bài toán thuật phóng trong của vũ khí không giật có buồng đốt cao áp

Đỗ Quốc Vi¹, Nguyễn Trang Minh¹, Đỗ Văn Minh^{2*}, Phùng Văn Cường³

¹Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự;

³Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.

*Email: minhdv100@gmail.com.com

Nhận bài: 15/9/2023; Hoàn thiện: 16/11/2023; Chấp nhận đăng: 12/12/2023; Xuất bản: 25/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.151-159>

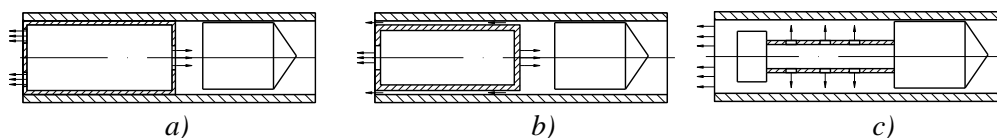
TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình toán học và giải bài toán thuật phóng trong của vũ khí không giật có buồng đốt cao áp. Mô hình bài toán được xây dựng trên cơ sở kế thừa mô hình thuật phóng của động cơ tên lửa, súng pháo thông thường và bổ sung các phương trình đặc thù cho vũ khí không giật có buồng đốt cao áp. Bài toán được giải bằng phương pháp tích phân số trên phần mềm MATLAB. Kết quả tính toán xác định được quy luật thay đổi của áp suất buồng cao áp, áp suất buồng thấp áp và vận tốc của đạn. Kết quả bài báo phù hợp với số liệu thiết kế của hệ vũ khí cỡ 93 mm, chứng tỏ mô hình bài toán đảm bảo độ tin cậy, làm cơ sở cho tính toán thiết kế và khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến động lực học của vũ khí không giật có buồng cao áp.

Từ khóa: Vũ khí không giật; Thuật phóng trong; Cao thấp áp; Buồng cao áp.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vũ khí không giật (động-phản lực) có buồng đốt cao áp (ĐPL-BCA) được nhiều nước trên thế giới sử dụng rộng rãi như tổ hợp đạn nhiệt áp RPO-A, đạn cháy RPO-Z, đạn chống tăng,... Ưu điểm của vũ khí này là thuốc phóng cháy trong buồng cao áp (BCA), đạn ở buồng thấp áp (BTA). Trong buồng thấp áp khí thuốc phóng giãn nở, tác dụng vào đạn và nòng súng. Buồng cao áp có áp suất cao nên thuốc phóng cháy ổn định, đạn ở buồng thấp áp nên tải trọng tác dụng lên đạn và nòng thấp. Khí thuốc phụt ra phía sau tạo xung lực triệt tiêu xung giật lùi của vũ khí, khí thuốc có thể phụt từ BCA, BTA hoặc cả BCA và BTA [1, 6].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của vũ khí ĐPL-BCA.

a) Khí thuốc phụt từ BCA; b) Khí thuốc phụt từ BCA và BTA; c) Khí thuốc phụt từ BTA

Vũ khí ĐPL-BCA kết hợp giữa súng pháo thông thường và động cơ phản lực. Do vậy, khi xây dựng mô hình sẽ kế thừa được các phương trình cơ bản của cả hai: phương trình cháy và sinh khí, phương trình phụt khí, phương trình chuyển động của đạn.

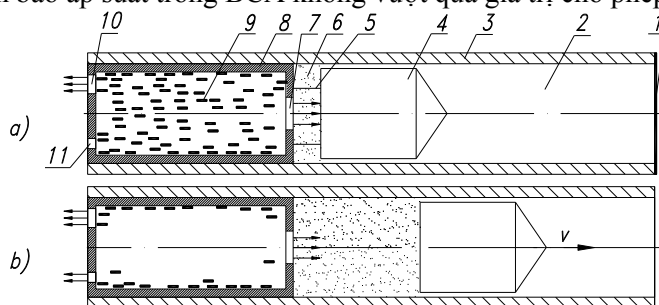
Có một số nghiên cứu về vũ khí có buồng cao áp, cụ thể như [2, 4, 8, 11] đã xây dựng và giải bài toán thuật phóng trong của vũ khí có BCA, [3] đã xây dựng mô hình bài toán thuật phóng trong cho vũ khí ĐPL-BCA cho trường hợp khí thuốc phụt từ BCA và BTA, [10] xây dựng phương trình năng lượng của vũ khí động phản lực có tính đến thế năng áp suất của sản phẩm cháy. Tuy nhiên, mô hình của các nghiên cứu này chưa tính đến các yếu tố như: nhiệt độ ban đầu của thuốc phóng, sự trao đổi khí qua lại giữa BCA và BTA, lực cản ở khoang phía trước đầu đạn do có nắp bịt kín.

Bài báo xây dựng mô hình bài toán thuật phóng trong của vũ khí ĐPL-BCA cho trường hợp khí thuốc phụt khí từ BCA, có tính đến ảnh hưởng của các yếu tố: nhiệt độ ban đầu của thuốc phóng, sự trao đổi qua lại khí thuốc giữa BCA và BTA, lực cản ở khoang phía trước đầu đạn do có nắp bịt kín, thể năng áp suất của khí thuốc trong phương trình năng lượng. Mô hình bài toán được áp dụng trong tính toán, thiết kế và khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến động lực học, từ đó, lựa chọn các tham số tối ưu theo các yêu cầu đặt ra.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

2.1. Sơ đồ thuật phóng và nguyên lý làm việc của hệ ĐPL-BCA

Sơ đồ thuật phóng của hệ ĐPL-BCA phụt khí từ BCA được trình bày như hình 2. Khi bắn, bộ lửa môi cháy thuốc môi và thuốc phóng trong BCA. Khi áp suất khí thuốc bên trong BCA đạt đến một giá trị nhất định sẽ phá các nắp bịt của loa phụt phía trước và các loa phụt làm việc phía sau. Khí thuốc phụt qua loa phụt phía trước vào BTA đồng thời phụt qua các loa phụt làm việc phía sau ra bên ngoài (hình 2a). Khi chênh lệch áp suất khí thuốc giữa BCA và BTA đủ lớn sẽ giải phóng khớp nối đẩy đạn chuyển động về phía trước từ đó tạo sơ tốc ban đầu cho đạn. Khi áp suất khí thuốc trong BCA tăng lên đến các giá trị xác định các loa phụt điều chỉnh sẽ lần lượt được mở thông, đảm bảo áp suất trong BCA không vượt quá giá trị cho phép (hình 2b).



Hình 2. Sơ đồ thuật phóng của vũ khí không giật có buồng đốt cao áp phụt khí từ BCA:

- a) Khí thuốc phụt qua loa phụt phía trước và loa phụt làm việc phía sau;
 b) Khí thuốc phụt qua loa phụt phía trước, loa phụt làm việc phía sau và loa phụt điều chỉnh.
 1. Nắp bịt; 2. Khoang phía trước đầu đạn; 3. Ống phóng (nòng); 4. Đầu đạn; 5. Khớp nối;
 6. Buồng thấp áp; 7. Loa phụt phía trước; 8. Buồng cao áp; 9. Thuốc phóng;
 10. Loa phụt làm việc phía sau; 11. Loa phụt điều chỉnh.

2.2. Xây dựng mô hình toán học của bài toán thuật phóng trong

Hệ ĐPL-BCA có kết cấu và nguyên lý hoạt động mới, kết hợp giữa động cơ tên lửa và súng pháo thông thường.

Kế thừa mô hình thuật phóng trong của động cơ tên lửa, súng pháo thông thường, các giả thiết đưa ra gồm [6, 10]:

- Thuốc phóng cháy theo quy luật hình học;
- Thành phần của sản phẩm cháy không thay đổi trong suốt quá trình cháy;
- Không có các phần tử thuốc phóng chưa cháy hết phụt ra khỏi loa phụt;
- Xem áp suất khí thuốc, nhiệt độ, thể tích riêng và mật độ khí thuốc là như nhau ở mọi điểm trong BCA và BTA. Áp suất khí thuốc trong BCA và BTA là áp suất trung bình thuật phóng. Đạn chuyển động dưới tác dụng của áp suất trung bình thuật phóng của BTA;
- Chuyển động của khí thuốc trong loa phụt là chuyển động ổn định, một chiều ở mỗi thời điểm. Giả thiết này cho phép sử dụng các công thức khí động của dòng khí ổn định vào việc tính toán lượng phụt khí tương đối trong quá trình xảy ra hiện tượng bắn;
- Thuốc môi cháy hết tức thời, môi cháy đồng thời và tức thời thuốc phóng;
- Bỏ qua ảnh hưởng khe hở giữa đầu đạn và nòng súng;

- Đạn chuyển động tịnh tiến trượt trên nòng súng (không có chuyển động quay);
- Tất cả các công thức yếu của khí thuốc, tổn thất nhiệt được tính vào hệ số tăng nặng đầu đạn φ .

Hệ phương trình mô tả các quá trình xảy ra trong sơ đồ thuật phóng này bao gồm các phương trình kế thừa từ mô hình thuật phóng của động cơ tên lửa, súng pháo thông thường và các phương trình đặc thù cho hệ vũ khí ĐPL-BCA. Các phương trình kế thừa gồm: các phương trình mô tả quy luật cháy và sinh khí, phương trình chuyển động của đạn [6-8].

$$\frac{dz}{dt} = \frac{p_c [1 - k_t (T_{bd} - T_{tc})]^{-1}}{I_k} \quad (1)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \chi (1 + 2\lambda z + 3\mu z^2) \frac{dz}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dL}{dt} = v \quad (3)$$

Trong đó: p_c, p_t - Áp suất khí thuốc trong BCA, BTA; χ, λ, μ - Các đặc trưng hình dạng của thuốc phóng; z, ψ - Bề dày cháy tương đối, lượng thuốc phóng cháy tương đối; v, L - Vận tốc đầu đạn, quãng đường chuyển động của đạn trong nòng súng; φ - Hệ số tính công thức yếu; I_k - Xung lượng toàn phần của áp suất khí thuốc; T_{bd}, T_{tc} - Nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ tiêu chuẩn của thuốc phóng.

Các phương trình đặc thù cho vũ khí ĐPL-BCA bao gồm: các phương trình trao đổi khí giữa BCA và BTA, phương trình phụt khí từ BCA ra khí quyển, các phương trình năng lượng của BCA và BTA, các phương trình bảo toàn khối lượng khí thuốc ở BCA và BTA, các phương trình trạng thái trong BCA, BTA và khoang phía trước đầu đạn.

a) Phương trình trao đổi khí giữa BCA và BTA

Khí thuốc trong BCA phụt qua loa phụt phía trước vào BTA đẩy đạn chuyển động. Khi áp suất trong BCA lớn hơn BTA khí thuốc sẽ phụt từ BCA sang BTA, ngược lại khí thuốc sẽ truyền từ BTA sang BCA. Tốc độ trao đổi khối lượng sản phẩm cháy giữa BCA và BTA $dm_{tr.dc}$ được xác định bởi diện tích tiết diện loa phụt phía trước và tương quan giữa các áp suất p_c và p_t trong BCA và BTA [2, 3, 6, 7]:

$$\frac{dm_{tr.dc}}{dt} = \begin{cases} \frac{\varphi_{21} S_1 p_c}{\sqrt{f \tau_c}} K_0, & \text{khi } \frac{p_c}{p_t} \geq k_{gh} \\ \frac{\varphi_{21} S_1 p_c}{\sqrt{f \tau_c}} \sqrt{\frac{2k_0}{k_0 - 1} \left[\left(\frac{p_t}{p_c} \right)^{\frac{2}{k_0}} - \left(\frac{p_t}{p_c} \right)^{\frac{k_0 + 1}{k_0}} \right]}, & \text{khi } 1 < \frac{p_c}{p_t} < k_{gh} \\ -\frac{\varphi_{21} S_1 p_t}{\sqrt{f \tau_t}} K_0, & \text{khi } \frac{p_t}{p_c} \geq k_{gh} \\ -\frac{\varphi_{21} S_1 p_t}{\sqrt{f \tau_t}} \sqrt{\frac{2k_0}{k_0 - 1} \left[\left(\frac{p_c}{p_t} \right)^{\frac{2}{k_0}} - \left(\frac{p_c}{p_t} \right)^{\frac{k_0 + 1}{k_0}} \right]}, & \text{khi } 1 < \frac{p_t}{p_c} < k_{gh} \\ 0 & \text{khi } p_c = p_t \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: f - Lực thuốc phóng; S_1 - Diện tích tiết diện tới hạn loa phụt phía trước; φ_{21} - Hệ số tổn thất lưu lượng phụt khí qua loa phụt phía trước;

- Các hằng số K_0, k_{gh} được xác định theo công thức:

$$K_0 = \left(\frac{2}{k_0 + 1} \right)^{\frac{k_0 + 1}{2(k_0 - 1)}} \sqrt{k_0} ; k_{gh} = \left(\frac{k_0 + 1}{2} \right)^{\frac{k_0}{k_0 - 1}}$$

- k_0 là chỉ số mũ đoạn nhiệt của khí thuốc;

- $\tau_c = \frac{T_c}{T_1}, \tau_t = \frac{T_t}{T_1}$ lần lượt là nhiệt độ tương đối của khí thuốc trong BCA và BTA; T_1, T_c, T_t

lần lượt là nhiệt độ cháy của thuốc phóng trong điều kiện đẳng tích và nhiệt độ của khí thuốc trong BCA, BTA.

b) Phương trình phụt khí từ BCA ra khí quyển qua các loa phụt làm việc

$$\frac{dm_{pk1}}{dt} = \begin{cases} \frac{\varphi_{22} S_2 P_c}{\sqrt{f \tau_c}} K_0, & \text{khi } \frac{P_c}{P_{kk}} \geq k_{gh} \\ \frac{\varphi_{22} S_2 P_c}{\sqrt{f \tau_c}} \sqrt{\frac{2k_0}{k_0 - 1} \left[\left(\frac{P_{kk}}{P_c} \right)^{\frac{2}{k_0}} - \left(\frac{P_{kk}}{P_c} \right)^{\frac{k_0 + 1}{k_0}} \right]}, & \text{khi } 1 < \frac{P_c}{P_{kk}} < k_{gh} \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó: S_2 - Tổng diện tích tiết diện tối hạn của các loa phụt làm việc; φ_{22} - Hệ số tổn thất lưu lượng khí phụt qua loa phụt làm việc; P_{kk} - Áp suất không khí.

c) Phương trình phụt khí từ BCA ra khí quyển qua các loa phụt điều chỉnh

$$\frac{dm_{pk2}}{dt} = \begin{cases} \frac{(\varphi_{23} S_3 + \varphi_{24} S_4 + \varphi_{25} S_5) P_c K_0}{\sqrt{f \tau_c}}, & \text{khi } \frac{P_c}{P_{kk}} \geq k_{gh} \\ \frac{(\varphi_{23} S_3 + \varphi_{24} S_4 + \varphi_{25} S_5) P_c}{\sqrt{f \tau_c}} \sqrt{\frac{2k_0}{k_0 - 1} \left[\left(\frac{P_{kk}}{P_c} \right)^{\frac{2}{k_0}} - \left(\frac{P_{kk}}{P_c} \right)^{\frac{k_0 + 1}{k_0}} \right]}, & \text{khi } 1 < \frac{P_c}{P_{kk}} < k_{gh} \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó: S_3, S_4, S_5 - Tổng diện tích tiết diện tối hạn của các loa phụt điều chỉnh có đường kính lần lượt là $\phi 6,6$ mm, $\phi 5,5$ mm, $\phi 5,0$ mm; $\varphi_{23}, \varphi_{24}, \varphi_{25}$ - Hệ số tổn thất lưu lượng khí phụt qua loa phụt điều chỉnh có đường kính lần lượt là $\phi 6,6$ mm, $\phi 5,5$ mm, $\phi 5,0$ mm.

d) Phương trình bảo toàn khối lượng sản phẩm cháy trong BCA

Tại thời điểm t đang xét, khối lượng sản phẩm cháy trong BCA là m_{kc} . Theo định luật bảo toàn khối lượng, ta có:

$$\frac{dm_{kc}}{dt} = \omega \frac{d\psi}{dt} - \frac{dm_{tr.dc}}{dt} - \frac{dm_{pk1}}{dt} - \frac{dm_{pk2}}{dt} \quad (7)$$

e) Phương trình năng lượng trong BCA

Tại thời điểm t , thuốc phóng cháy một lượng $\omega\psi$, khí thuốc phóng trong BCA phụt ra ngoài một lượng $(m_{pk1} + m_{pk2})$, trao đổi với BTA một lượng $m_{tr.dc}$. Sau khoảng thời gian dt lượng thuốc phóng cháy thêm $\omega d\psi$, khí thuốc phóng trong BCA phụt ra ngoài thêm một lượng $(dm_{pk1} + dm_{pk2})$, trao đổi với BTA thêm một lượng $dm_{tr.dc}$.

Khí thuốc trong BCA được cấp thêm lượng nhiệt do thuốc mồi và thuốc phóng cháy tạo ra:

$$\frac{dQ_c}{dt} = C_v T_1 \omega \frac{d\psi}{dt} = \frac{R}{k_0 - 1} k_0 T_0 \omega \frac{d\psi}{dt} = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} \omega \frac{d\psi}{dt} \quad (8)$$

Theo [6, 10], năng lượng của khối khí có khối lượng $dm_{tr.dc}$, phụt ra khỏi BCA bằng động năng của khối khí đó mà nó chuyển động với vận tốc giới hạn v_{ghi} , tức là vận tốc phụt khí khi mà áp suất và nhiệt hàm của nó bằng không.

$$v_{ghi} = \sqrt{\frac{2k_0}{k_0 - 1} RT_i} \quad (9)$$

Năng lượng khí thuốc trao đổi với BTA:

$$\frac{dE_{tr.dc}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm_{tr.dc}}{dt} v_{ghi}^2 = \frac{k_0}{k_0 - 1} RT_i \frac{dm_{tr.dc}}{dt} = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} \tau_i \frac{dm_{tr.dc}}{dt} \quad (10)$$

Trong đó: $\tau_i = \tau_c$ khi $p_c \geq p_i$; $\tau_i = \tau_t$ khi $p_c < p_i$.

Năng lượng khí thuốc phụt ra ngoài khí quyển:

$$\frac{dE_{pkc}}{dt} = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} \tau_c \left(\frac{dm_{pk1}}{dt} + \frac{dm_{pk2}}{dt} \right) \quad (11)$$

Khối khí trong BCA có khối lượng $m_{kc} = \omega\psi - m_{tr.dc} - m_{pk1} - m_{pk2}$, nhiệt độ T_c , có năng lượng (nhiệt hàm) gồm nội năng U_c và thế năng áp suất P_c .

$$U_c = m_{kc} C_v T_c = m_{kc} \frac{f}{k_0 - 1} \tau_c = m_{kc} \frac{f}{k_0 - 1} \tau_c \quad (12)$$

$$P_c = m_{kc} \frac{P_m}{\rho_m} = m_{kc} RT_c = m_{kc} f \tau_c \quad (13)$$

Vậy

$$\frac{d(U_c + P_c)}{dt} = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} \left(\frac{d\tau_c}{dt} m_{kc} + \tau_c \frac{dm_{kc}}{dt} \right) \quad (14)$$

Phương trình cân bằng năng lượng trong BCA theo định luật thứ nhất của nhiệt động học được viết như sau:

$$dQ_c = dE_{tr.dc} + dE_{pkc} + d(U_c + P_c) \quad (15)$$

Thay các biểu thức vào, qua một số biến đổi thu được:

$$\frac{d\tau_c}{dt} = \frac{(1 - \tau_c)\omega d\psi - (\tau_i - \tau_c) dm_{tr.dc}}{m_{kc}} \quad (16)$$

Trong đó: $\tau_i = \tau_c$ khi $p_c \geq p_i$; $\tau_i = \tau_t$ khi $p_c < p_i$.

f) Phương trình trạng thái khí thuốc trong BCA

$$p_c = \frac{f \tau_c m_{kc}}{W_{0c} - \frac{\omega}{\delta} (1 - \psi) - \alpha m_{kc}} \quad (17)$$

Trong đó: α - Lượng cộng tích của khí thuốc phóng; W_{0c} - Thể tích riêng và thể tích ban đầu của BCA; ψ - Lượng thuốc phóng đã cháy tương đối; δ - Trọng lượng riêng của thuốc phóng; ω - Khối lượng thuốc phóng.

g) Phương trình bảo toàn khối lượng sản phẩm cháy trong BTA

Tại thời điểm t đang xét, khối lượng sản phẩm cháy trong BTA là m_{kt} . Theo định luật bảo toàn khối lượng, ta có:

$$\frac{dm_{kt}}{dt} = \frac{dm_{tr.dc}}{dt} \quad (18)$$

h) Phương trình năng lượng trong BTA

Tại thời điểm t , khí thuốc phóng đã trao đổi với BCA một lượng $m_{tr.dc}$, đầu đạn chuyển động với vận tốc v . Sau khoảng thời gian dt khí thuốc trao đổi thêm với BCA một lượng $dm_{tr.dc}$, vận tốc đạn tăng thêm dv .

Như vậy, BTA trao đổi với BCA một nhiệt lượng $dE_{tr.dc}$, tương tự (11):

$$\frac{dE_{tr.dc}}{dt} = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} \tau_i \frac{dm_{tr.dc}}{dt} \quad (19)$$

Trong đó: $\tau_i = \tau_c$ khi $p_c \geq p_i$; $\tau_i = \tau_t$ khi $p_c < p_i$.

Tại thời điểm t , động năng của đạn bằng $\frac{1}{2} \phi m v^2$, nên phần năng lượng của khí thuốc chuyển vào động năng của đạn sau khoảng thời gian dt được tính như sau:

$$dA = d\left(\frac{1}{2} \phi m v^2\right) = \phi m v dv \quad (20)$$

Khối khí trong BTA có khối lượng $m_{kt} = m_{tr.dc}$, nhiệt độ T_t , có năng lượng (nhiệt hàm) gồm: nội năng U_t và thế năng áp suất P_t , tương tự (14) nhận được:

$$d(U_t + P_t) = \frac{k_0 f}{k_0 - 1} (\tau_t dm_{kt} + m_{kt} d\tau_t) \quad (21)$$

Phương trình cân bằng năng lượng trong BTA theo định luật thứ nhất của nhiệt động học được viết như sau:

$$dE_{tr.dc} = dA + d(U_t + P_t) \quad (22)$$

Thay các biểu thức vào, qua một số biến đổi thu được:

$$\frac{d\tau_t}{dt} = \frac{(\tau_i - \tau_t) dm_{tr.dc} - \frac{k_0 - 1}{k_0 f} \phi m v dv}{m_{kt}} \quad (23)$$

Trong đó: $\tau_i = \tau_c$ khi $p_c \geq p_i$; $\tau_i = \tau_t$ khi $p_c < p_i$.

i) Phương trình trạng thái khí thuốc trong BTA

$$P_t = \frac{f \tau_t m_{kt}}{W_{0t} - \alpha m_{kt} + S_n L} \quad (24)$$

Trong đó: α - Lượng cộng tích của khí thuốc phóng; W_{0t} - Thể tích riêng, thể tích ban đầu của BTA.

j) Phương trình trạng thái không khí trong khoang phía trước đầu đạn

Do áp suất phá vỡ nắp bịt thấp, thời gian xảy ra rất nhanh nên nhiệt độ trong khoang thay đổi nhỏ, giả thiết quá trình nén là đẳng nhiệt. Áp suất không khí trong khoang được xác định theo công thức:

$$p_3 = \begin{cases} \frac{p_{kk} W_{03}}{W_{03} - S_n L}, & \text{khi } p_3 \leq p_{gh3} \\ p_{kk}, & \text{khi } p_3 > p_{gh3} \end{cases} \quad (25)$$

Trong đó, W_{03} là thể tích ban đầu của khoang phía trước đầu đạn.

k) Phương trình chuyển động của đạn trong nòng súng

$$\frac{dv}{dt} = \frac{S_n(p_t - p_3)}{\varphi m} \quad (26)$$

Trong đó, S_n , m lần lượt là diện tích tiết diện ngang và khối lượng của đầu đạn.

Hệ phương trình thuật phóng trong của vũ khí ĐPL-BCA gồm các phương trình: (1)-(7), (16)-(18), (23)-(26).

Điều kiện ban đầu của phân hệ phương trình vi phân:

$$t = 0; \psi = \psi_0; z = z_0; v = 0; L = 0; p_c = p_{c0}; m_{kt0} = \frac{p_{kk} W_{0t}}{f \tau_t};$$

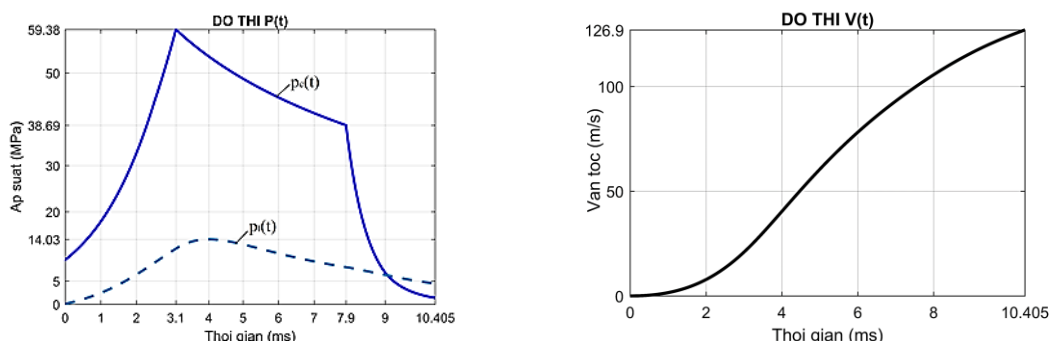
$$p_t = p_{kk}; \tau_c = 0,9; \tau_t = 0,1; m_{r.dc} = 0; m_{r.dt} = 0; m_{pk1} = 0; m_{pk2} = 0; m_{kc} = \omega \psi_0; m_{kt} = m_{kt0};$$

$$p_{c0} = \frac{f_m \cdot \omega_m}{W_{0c} - \frac{\omega}{\delta} - \alpha_m \omega_m}; \psi_0 = \frac{p_{c0} (W_{0c} - \frac{\omega}{\delta})}{f \omega - p_{c0} [\frac{\omega}{\delta} - \alpha \omega (1 - \Delta)]}; z_0 = \frac{2\psi_0}{\chi(\sigma_0 + 1)}; \sigma_0 = \sqrt{1 + \frac{4\lambda}{\chi} \psi_0}.$$

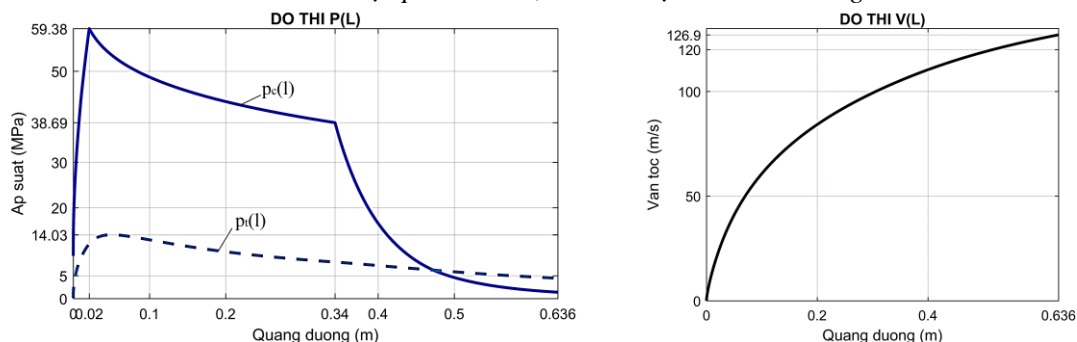
3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán

Tiến hành giải hệ phương trình vi phân bằng phương pháp số sử dụng thuật toán Runge-Kutta trên máy tính với bộ số liệu đầu vào như sau [12]: $m = 3,94$ kg; $L_d = 0,636$ m; $S_n = 0,0068$ m²; $W_{0c} = 6,188 \cdot 10^{-4}$ m³; $W_{0t} = 4,77 \cdot 10^{-4}$ m³; $W_{03} = 1,4 \cdot 10^{-3}$ m³; $S_1 = 1,43 \cdot 10^{-4}$ m²; $S_2 = 9,81 \cdot 10^{-4}$ m²; $S_3 = 3,42 \cdot 10^{-5}$ m²; $S_4 = 3,17 \cdot 10^{-4}$ m²; $S_5 = 1,22 \cdot 10^{-4}$ m²; $\omega = 0,340$ kg; $\delta = 1540$ kg/m³; $f = 857982$ J/kg; $I_k = 350$ Pa.s; $\alpha = 1,24 \cdot 10^{-3}$ m³/kg; $\chi = 1,036$; $\lambda = -0,0036$; $\mu = 0$; $k_0 = 1,22$; $k_t = 0,002$; $\omega_m = 0,0145$ kg; $f_m = 265035$ J/kg; $p_{3gh} = 3,1 \cdot 10^5$ Pa; $p_{kk} = 10^5$ Pa; $\varphi = 1,1$; $F_{td} = 450$ N; $T_{bd} = 50$ °C.



Hình 3. Đồ thị áp suất BCA, BTA và vận tốc theo thời gian.



Hình 4. Đồ thị áp suất BCA, BTA và vận tốc theo quãng đường.

Kết quả tính toán nhận được, vận tốc đầu nòng 126,9 m/s, áp suất khí thuốc lớn nhất trong BCA 59,38 MPa, áp suất khí thuốc trong BTA 14,03 MPa, thời gian đạn chuyển động trong nòng

10,4 ms. Đồ thị áp suất BCA, BTA và vận tốc theo thời gian và quãng đường như hình 3, 4.

Kết quả tính toán tại một số thời điểm quan trọng được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính toán tại các thời điểm quan trọng.

	t (ms)	pc (MPa)	pt (MPa)	v (m/s)	L (m)
Thời điểm BCA đạt giá trị lớn nhất	3,1	59,38	12,02	22,9	0,02
Thời điểm BTA đạt giá trị lớn nhất	4,04	53,54	14,03	41,3	0,05
Thuốc phóng cháy hết	7,9	38,69	8,03	104,4	0,34
Đạn vừa ra khỏi nòng	10,4	1,39	4,48	126,9	0,636

3.2. Thảo luận

Thời điểm BCA đạt giá trị áp suất lớn nhất là thời điểm các loa phụt điều chỉnh được mở thông, lúc này lượng khí sinh ra nhỏ hơn lượng khí phụt ra khỏi BCA nên áp suất sẽ giảm dần. Kết quả tính toán cho thấy áp suất khí thuốc trong BTA nhỏ hơn trong BCA 4 lần. Thể hiện được ưu điểm của vũ khí ĐPL-BCA, làm cho kết cấu của nòng và đạn gọn nhẹ, tăng tính cơ động của hệ vũ khí so với vũ khí thông thường cùng cỡ.

Giai đoạn cuối áp suất trong BTA có thể lớn hơn trong BCA. Nguyên nhân là do khi thuốc phóng trong BCA cháy hết, áp suất trong BCA và BTA đều giảm đến khi áp suất trong BCA và BTA bằng nhau (lớn hơn áp suất khí quyển). Khí thuốc trong BCA tiếp tục phụt ra ngoài khí quyển làm cho áp suất trong BCA giảm và thấp hơn BTA. Lúc này, khí thuốc sẽ chảy ngược lại từ BTA sang BCA. Điều này chứng tỏ mô hình của bài báo phù hợp với thực tế, được thể hiện qua phương trình (4).

Kết quả tính toán phù hợp với các yêu cầu của hệ động- phản lực cỡ 93 mm [12]: sơ tốc 125 ± 5 m/s, áp suất BCA ($52 \div 61$) MPa, áp suất BTA ($12 \div 16$) MPa. Kết quả này cho thấy, mô hình có độ tin cậy và chính xác.

4. KẾT LUẬN

Mô hình bài toán thuật phóng trong của vũ khí ĐPL-BCA đảm bảo độ chính xác và phù hợp với số liệu thiết kế. Mô hình tính toán đã kể đến ảnh hưởng của các yếu tố: nhiệt độ ban đầu của thuốc phóng, sự trao đổi qua lại khí thuốc giữa BCA và BTA, lực cản ở khoang phía trước đầu đạn do có nắp bịt kín, thể năng áp suất của khí thuốc trong phương trình năng lượng. Mô hình bài toán có thể sử dụng tính toán, thiết kế và khảo sát ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến động lực học của hệ vũ khí không giật có buồng đốt cao áp cho trường hợp phụt khí từ BCA, cụ thể như tổ hợp đạn nhiệt áp RPO-A, đạn cháy RPO-Z,...

Mô hình cần được tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện, bằng cách mô tả đầy đủ hơn các quá trình xảy ra khi bắn như: quá trình cháy của thuốc mồi, sự phụt khí qua khe hở giữa đạn và nòng súng và cần có thực nghiệm để chuẩn xác hóa các hệ số tổn thất lưu lượng phụt khí φ_2 .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ môn súng pháo, “Nguyên lý kết cấu và tính toán Vũ khí chống tăng đánh gần”, Trường Đại học Kỹ thuật quân sự, (1979).
- [2]. Bien.V.V, “The Effect of The Nozzle Ultimate Section Diameter on Interior Ballistics of HV-76 Trial Gun”, International Conference on Military Technologies (ICMT), Brno, Czech, (2019).
- [3]. Bùi Đình Tân, “Nghiên cứu xây dựng mô hình toán xác định các tham số động lực học động cơ phóng tên lửa chống tăng theo nguyên lý “động-phản lực”, Hội nghị FEE2023, mã số B50.
- [4]. Dung.T.N, Linh.D.D, “Internal ballistics of high-low pressure decoy launcher with a secondary propellant charge”, International conference on Military Technologies, (2019).
- [5]. Lê Công Cát, “Kỹ thuật nhiệt”, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, (2011).
- [6]. Nghiêm Xuân Trinh, Nguyễn Quang Lượng, Nguyễn Trung Hiếu, Ngô Văn Quảng, “Thuật phóng trong”, Học viện Kỹ thuật quân sự, (2015).

- [7]. Phạm Thế Phiệt, “*Lý thuyết động cơ tên lửa*”, Học viện Kỹ thuật quân sự, (1995).
- [8]. S. Jaramaz, D. Micković, Z. Zivković and R. Curčić, “*Internal ballistic principle of high/low pressure chambers in automatic grenade launchers*”, 19th International Symposium of Ballistics, Interlaken, Switzerland, (2001).
- [9]. Trần Đăng Điện, Nguyễn Quang Lượng, Trần Văn Doanh, “*Bài tập thuật phóng trong*”, Học viện Kỹ thuật quân sự, (2006).
- [10]. Trần Văn Doanh, “*Phương trình năng lượng của mô hình thuật phóng trong hệ động học phản lực*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật số 151, Học viện Kỹ thuật quân sự, (2012).
- [11]. T. Vasile, D. Safta, C. Barbu, “*Studies and researchers concerning grenade launcher with high-low pressure chambers*”, [online] [cited 2019-02-26], available from: <https://www.researchgate.net/publication/267238161_Studies_and_researchers_concerning_grenade_launcher_with_high-low_pressure_chambers>.
- [12]. Viện Vũ khí, “*Số liệu thiết kế sơ bộ hệ động- phản lực cỡ 93mm*”, (2021).

ABSTRACT

Building a model for the internal ballistic problem of recoilless weapons with high-pressure combustion chamber

This paper presents a method for building a mathematical model and solving internal ballistic problems of recoilless weapons with high-pressure chambers. The model is built on the basis of inheriting the internal ballistic model of rocket engines and conventional guns and adding specific equations for recoilless weapons with high-pressure combustion chambers. The problem is solved using the numerical integration method on MATLAB software. The results of the study determined the law of pressure in high-pressure chambers, low-pressure chambers, and grenade velocity. The calculated results are consistent with the design data of the 93 mm weapon, demonstrating the reliability of the problem model. This serves as a basis for designing calculations and investigating the impact of structural parameters on the dynamics of recoilless weapons with high-pressure chambers.

Keywords: Recoilless weapons; Internal ballistics; High-low pressure; High-pressure chamber.