

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA KHÂU CƠ SỞ ĐẾN LÀM VIỆC CỦA MÁY TỰ ĐỘNG VÀ QUÁ TRÌNH KHAI THÁC SỬ DỤNG PHÁO PHÒNG KHÔNG 23 mm ZU23-2

STUDY ON THE INFLUENCE OF THE BASE ASSEMBLY OF THE 23 mm ZU23-2
ANTI-AIRCRAFT GUN ON THE OPERATION OF THE AUTOMATIC MECHANISM
AND THE GUN'S OPERATIONAL PERFORMANCE

Lê Ngọc Hà¹, Mai Anh Quang²

¹Hệ Quản lý học viên Sau đại học, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Khoa Vũ khí, Trường Sĩ quan Kỹ thuật quân sự

Email: maianhquang.vhp@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo phân tích động lực học của pháo phòng không 23 mm ZU23-2, tính toán các quy luật chuyển động, vận tốc, lực tác dụng và chu kỳ phát bắn. Trên cơ sở các kết quả tính toán, nghiên cứu xác định quy luật chuyển động và phân bố lực lên khâu cơ sở, từ đó đề xuất điều chỉnh một số thông số của khâu cơ sở và máy tự động. Mục tiêu là nâng cao chất lượng huấn luyện, hỗ trợ khai thác an toàn, tối ưu hóa công tác bảo dưỡng và tiết kiệm trong quá trình sử dụng.

Từ khóa: Khâu cơ sở; Máy tự động; Pháo phòng không 23 mm ZU23-2; Khai thác sử dụng.

ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of the 23 mm ZU23-2 anti-aircraft gun by computing motion laws, velocities, applied forces, and the firing cycle. Based on these calculations, the motion patterns and force distribution acting on the base assembly are characterized. Recommendations are then proposed to modify certain parameters of the base assembly and the automatic mechanism to improve training quality, support safe operation, optimize maintenance, and reduce operational costs.

Keywords: Base assembly; Automatic mechanism; 23 mm ZU23-2 anti-aircraft gun; Operation and exploitation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hiện nay, khi các phương tiện bay không người lái (UAV), tên lửa hành trình và các phương tiện chiến đấu tầm thấp phát triển nhanh chóng, việc duy trì và khai thác hiệu quả hệ thống pháo phòng không tầm thấp trở thành một yêu cầu cấp thiết. Một trong những vũ khí được sử dụng rộng rãi trong Quân đội Nhân dân Việt Nam cũng như nhiều quốc gia khác là pháo phòng không 23 mm ZU-23-2. Loại pháo này có khả năng bắn mục tiêu bay ở cự ly đến 2500 m, độ cao đến 1500 m với tốc độ mục tiêu khoảng 300 m/s, đồng thời còn có thể sử dụng để tiêu diệt các mục tiêu mặt đất hoặc mặt nước nhờ độ cơ động cao và tốc độ bắn lớn, lên tới 400 phát/phút.

Tuy nhiên, máy tự động của pháo có kết cấu cơ khí rất phức tạp. Việc nghiên cứu, khai thác, sửa chữa, huấn luyện và cải tiến máy tự động của pháo gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của khâu cơ sở pháo phòng không 23 mm ZU-23-2 đến làm việc của máy tự động và quá trình khai thác sử dụng pháo. Nghiên cứu này đặc biệt có thể tạo điều kiện thuận lợi cho công tác huấn luyện, khai thác vũ khí, cải tiến kỹ thuật và nâng cao hiệu quả, an toàn, tiết kiệm trong sử dụng pháo.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên lý hoạt động của máy tự động pháo phòng không 23 mm ZU-23-2

Pháo 23 mm ZU-23-2 làm việc theo nguyên lý trích khí thuốc, buồng khí hở, piston lùi dài. Chu trình làm việc của máy tự động bao gồm [4]:

1. Mở khóa nòng.
2. Rút và hất vỏ đạn.
3. Giương búa.

4. Tiếp đạn và tổng đạn.

5. Đóng khóa nòng.

6. Giải phóng kim hỏa để phát hỏa phát bắn tiếp theo.

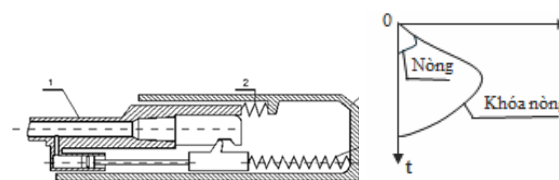
Cơ chế làm việc có thể được giải thích như sau:

- Khi viên đạn đầu tiên được phát hỏa, khí thuốc sinh công đẩy đầu đạn đi trong nòng.

- Khi đầu đạn đi qua lỗ trích khí, một phần khí thuốc theo lỗ trích khí đi vào buồng khí, tác động lên piston.

- Piston chuyển động ra sau, kéo theo bộ khóa nòng, kích hoạt chu trình mở khóa, rút vỏ đạn, tiếp đạn, tổng đạn, rồi lại đóng khóa nòng và phát hỏa.

Quá trình này diễn ra liên tục, nhờ đó pháo đạt tốc độ bắn cao.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy tự động pháo 23 mm ZU-23-2

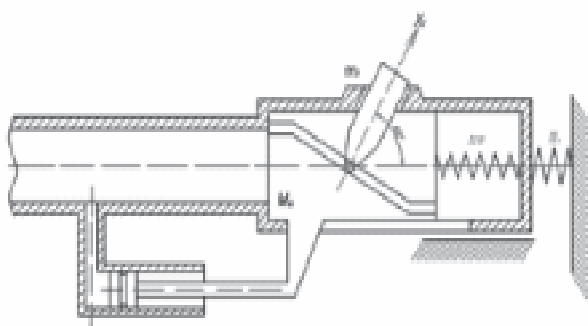
2.2. Giả thiết và sơ đồ nguyên lý

Như đã phân tích ở phần cơ sở lý thuyết, máy tự động pháo 23 mm được coi là một hệ cơ học phức tạp gồm nhiều khâu chuyển động song phẳng, chịu tác động của các lực trong thời gian rất ngắn. Để đơn giản hóa việc tính toán, các giả thiết chính được đưa ra gồm:

- Các khâu (bộ khóa, piston, cần tổng đạn, cần gia tốc...) được coi là vật rắn tuyệt đối;

- Lò xo khóa nòng, lò xo giảm giật coi như đàn hồi tuyến tính với hệ số đàn hồi k ;
- Khối lượng phân bố thay bằng khối lượng thu gọn;
- Các va chạm cơ học được mô hình hóa bằng lực tức thời có giá trị cực đại.

Trên cơ sở đó, sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy tự động được xây dựng.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý máy tự động pháo 23 mm

2.3. Hệ phương trình thuật phóng trong [2]

Để mô tả quá trình cháy thuốc phóng trong nòng súng, sử dụng hệ phương trình thuật phóng trong [2]. Một dạng rút gọn của phương trình có thể viết:

$$p = \frac{\varphi \cdot \varepsilon \cdot N}{V + \gamma \cdot x}$$

Trong đó:

- p : Áp suất khí thuốc trong nòng;
- φ : Hệ số tăng nặng;
- ε : Khối lượng thuốc phóng;
- N : Đương lượng công của nhiệt;
- V : Thể tích buồng cháy;
- γ : Hệ số đặc trưng hình học thuốc phóng;
- x : Quãng đường chuyển động của đầu đạn.

2.4. Hệ phương trình trích khí

Khi đạn đi qua lỗ trích khí, một phần khí thuốc được đưa vào buồng khí. Áp suất trong buồng khí p_b tác động trực tiếp lên piston và bộ khóa. Phương trình nhiệt động lực học trong buồng khí [5]:

$$\frac{dp_b}{dt} = \frac{1}{V_b} (G_b \cdot R \cdot T_n - G_\Delta \cdot R \cdot T_b)$$

Trong đó:

- V_b : Thể tích buồng khí;
- G_b : Lưu lượng khí qua lỗ trích;
- G_Δ : Lưu lượng khí rò qua khe hở piston;
- T_n, T_b : Nhiệt độ khí trong nòng và buồng khí;
- R : Hằng số khí.

2.5. Hệ phương trình chuyển động của bộ khóa

Áp dụng phương trình Lagrange loại II, hệ phương trình chuyển động của bộ khóa và các khâu liên kết có dạng tổng quát:

$$M \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x} + K \cdot x = P(t)$$

Trong đó:

- M : Ma trận khối lượng (khối lượng thu gọn);
- C : Ma trận ma sát và giảm chấn;
- K : Ma trận độ cứng (do lò xo);
- x : Vector tọa độ suy rộng;
- $P(t)$: Vector lực ngoài (áp suất khí thuốc, lực cản tiếp đạn, lực tổng đạn...).

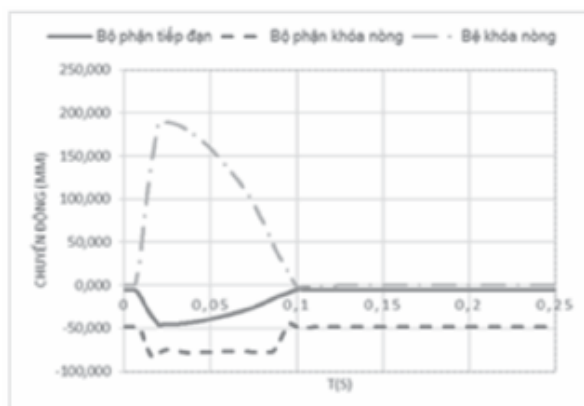
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bằng lập trình Matlab, thu được một loạt kết quả quan trọng về quy luật chuyển động, vận tốc, lực tác dụng và chu kỳ phát bắn của máy tự động pháo phòng không 23 mm ZU23-2.

3.1. Quy luật chuyển động của khâu cơ sở (Bộ khóa nòng)



Kết quả khảo sát là quỹ đạo dịch chuyển của bộ khóa trong một chu kỳ phát bắn.



Hình 3. Đồ thị quy luật chuyển động của bộ khóa

*Nhận xét:

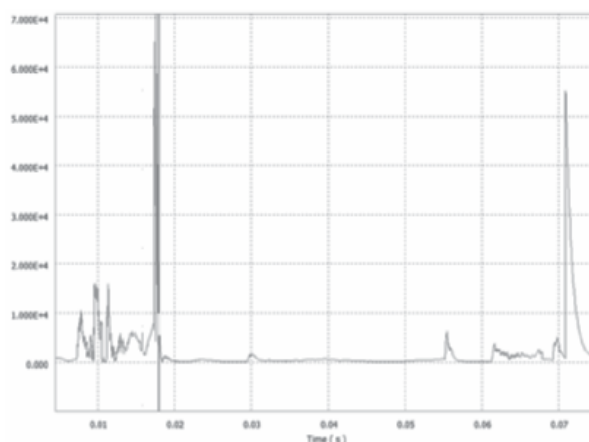
Đồ thị thể hiện quy luật chuyển động các cơ cấu của pháo khi nòng lùi xác định được chu kỳ của một phát bắn $t = 0,105$ s. Kết quả khảo sát thuận lợi cho việc thay đổi các tham số của pháo, góp phần nâng cao tốc độ bắn và nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến một phát bắn của pháo 23 mm ZU23-2.

3.2. Quy luật lực tác dụng lên khâu cơ sở

3.2.1. Lực tác dụng lên liên kết bộ khóa - hộp khóa nòng

Hình 4 thể hiện dưới tác dụng của áp suất khí thuốc, bộ khóa nòng trượt trong hộp khóa nòng. Khi va chạm xảy ra, lực tác dụng lên hộp khóa nòng tăng vọt đến giá trị cực đại.

Ý nghĩa: Phân tích này giúp xác định khả năng chịu lực của hộp khóa nòng, từ đó đánh giá độ bền và đề xuất cải tiến vật liệu hoặc kết cấu khi cần.

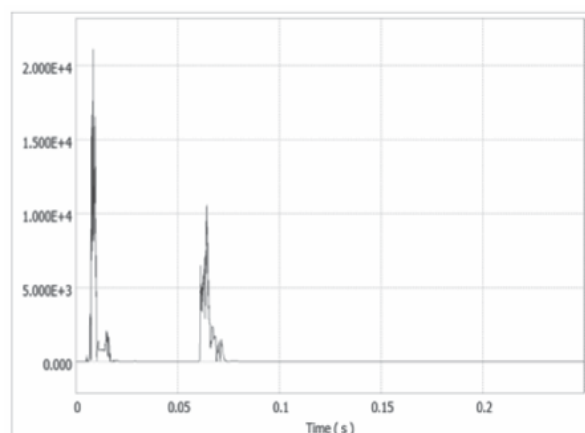


Hình 4. Đồ thị lực liên kết giữa bộ khóa nòng và hộp khóa nòng

3.2.2. Lực tác dụng lên liên kết bộ khóa – khóa nòng

Khi bộ khóa lùi, mặt nghiêng của nó tác động làm khóa nòng chuyển động đi lên, đồng thời nén lò xo búa. Khi khóa nòng gần vị trí trên cùng, lực đột ngột tăng do va chạm và giải phóng búa.

Ý nghĩa: Xác định giá trị cực đại của lực này có thể giúp thiết kế lại hình học mặt nghiêng hoặc cải tiến lò xo búa để giảm mài mòn, tăng độ bền.



Hình 5. Đồ thị lực liên kết giữa bộ khóa và khóa nòng

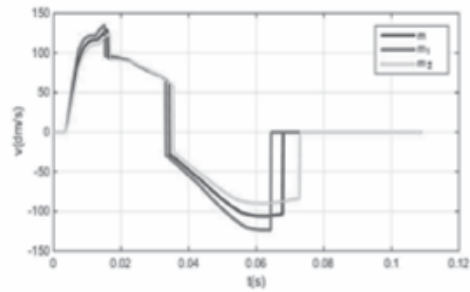
3.3. Khảo sát ảnh hưởng của khâu cơ sở đến làm việc máy tự động

Kết quả khảo sát được thể hiện ở bảng 1 và hình 6, 7. Qua kết quả nhận thấy rằng, khối lượng bộ khóa $m_1 = 0.0625$ kg tương ứng với áp suất buồng khí lớn nhất 376.48 kg/cm^2 ; Tốc độ bắn: 882 phát/phút; Vận tốc bộ khóa lớn nhất: 129.379 dm/s .

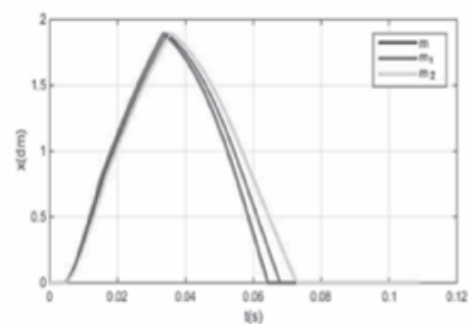
Bảng 1. Ảnh hưởng của khối lượng bộ khóa nòng đến hoạt động máy tự động

Khối lượng bộ khóa (kg)	$m = 0.05$	$m_1 = 0.0625$	$m_2 = 0.075$
Áp suất buồng khí lớn nhất (kg/cm^2)	372.27	376.48	379.74
Tốc độ bắn (phát/phút)	931	882	823
Vận tốc bộ khóa lớn nhất (dm/s)	135.24	129.379	124.56
Chu kỳ (s)	0.0644	0.068	0.073

Khi thay đổi khối lượng $m = 0.05$ kg, áp suất lớn nhất trong buồng khí: 372.27 kg/cm^2 (giảm 4.21 kg/cm^2); Tốc độ bắn: 931 phát/phút (tăng 49 phát/phút); Vận tốc bộ khóa lớn nhất 135.24 dm/s (tăng 5.861 dm/s). Khi thay đổi khối lượng $m = 0.075$ kg thì áp suất lớn nhất trong buồng khí: 379.74 kg/cm^2 (giảm 4.21 kg/cm^2); Tốc độ bắn: 823 phát/phút (giảm 49 phát/phút); Vận tốc bộ khóa lớn nhất 124.56 dm/s (giảm 5.861 dm/s).



Hình 6. Đồ thị vận tốc bộ khóa khi thay đổi khối lượng bộ khóa



Hình 7. Đồ thị vận tốc bộ khóa khi thay đổi khối lượng bộ khóa

*Nhận xét:

Khi giảm khối lượng bộ khóa nòng thì tốc độ của bộ khóa tăng nhanh hơn và giá trị lớn nhất V_{bkmax} tăng lên đồng thời tốc độ bắn tăng lên, do đó chu kỳ làm việc của máy tự động nhanh hơn.

Khi tăng khối lượng bộ khóa nòng thì tốc độ của bộ khóa tăng chậm hơn và giá trị lớn nhất V_{bkmax} giảm đi đồng thời tốc độ bắn cũng giảm đi, do đó chu kỳ làm việc của máy tự động chậm hơn.

Dễ thấy khi khối lượng của bộ khóa nòng càng nhỏ thì trọng lượng của nó càng nhẹ, dưới tác dụng của áp suất khí thuốc sẽ đẩy bộ khóa lùi với một tốc độ nhanh hơn. Khi bộ khóa lùi cùng với tốc độ nhanh hơn thì sau va chạm với khâu làm việc, bộ khóa sẽ đạt giá trị V_{max} 

lớn hơn so với khi chưa thay đổi khối lượng của nó. Đồng thời, khi lùi với tốc độ nhanh và lớn hơn sẽ nén lò xo đẩy về mạnh hơn và sinh ra lực đẩy lớn đẩy bộ khóa trở về vị trí trên cùng với tốc độ nhanh hơn và lớn hơn. Do đó, chu kỳ làm việc của máy tự động sẽ diễn ra nhanh hơn hay với thời gian ít hơn.

3.4. Đánh giá kết quả

Từ các kết quả trên, có thể rút ra một số ý nghĩa ứng dụng quan trọng:

- Trong khai thác và bảo dưỡng: Dữ liệu về lực và vận tốc hỗ trợ dự báo mòn, hỏng của các chi tiết chịu tải lớn (như hộp khóa nòng, bộ khóa, cần gia tốc). Điều này giúp lên kế hoạch bảo dưỡng hợp lý, tăng tuổi thọ trang bị.

- Trong cải tiến kỹ thuật: Mô hình có thể dùng để thử nghiệm các phương án thay đổi thông số (lò xo, hình dạng cam, khe hở piston, đường kính lỗ trích khí...) trước khi áp dụng thực tế, tiết kiệm chi phí và thời gian.

4. KẾT LUẬN

Bài báo có ý nghĩa lý luận và thực tiễn khi đã đưa ra cơ sở lý thuyết, kết quả khảo sát ảnh hưởng của khối lượng bộ khóa nòng đến

quá trình làm việc của máy tự động pháo phòng không 23 mm. Phương pháp khảo sát đảm bảo độ tin cậy phù hợp với tài liệu sản xuất, chế tạo. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để đề xuất các giải pháp nâng cao chất lượng huấn luyện, hỗ trợ khai thác an toàn, tối ưu bảo dưỡng và tiết kiệm trong quá trình sử dụng. ❖

Ngày nhận bài: **03/10/2025**

Ngày phản biện: **15/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Huy Chương, “Cơ sở kết cấu và tính toán thiết kế máy tự động”. NXB. Học viện Kỹ thuật quân sự (1998), Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ, “Thuật phóng của súng pháo; Bài tập thuật phóng trong”. Đại học Kỹ thuật quân sự (1976).
- [3]. Lê Bá Hạnh, “Phân tích động lực học máy tự động pháo 23 mm ZU-23-2 bằng ứng dụng *Dynamic Simulation Inventor*”. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật quân sự, ISSN 2354-1288 (2020).
- [4]. Nguyễn Mạnh Hùng, Mai Anh Quang, Lê Bá Hạnh, & Nguyễn Đình Anh Vũ, “Nghiên cứu khảo sát giải bài toán động lực học máy tự động pháo phòng không 23 mm ZU-23-2 bằng lập trình và phần mềm mô phỏng”. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật quân sự, Số 17 (2020).
- [5]. Trần Hồng Thanh, “Cơ sở kết cấu và tính toán máy tự động”. NXB. Trường Sĩ quan Kỹ thuật quân sự (2017).