

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC CẢN DÂY BĂNG ĐẾN HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY TỰ ĐỘNG SÚNG MÁY PHÒNG KHÔNG 14,5 MM

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF THE AMMUNITION BELT PULLING FORCE ON THE OPERATION OF THE 14.5 MM ANTI-AIRCRAFT MACHINE GUN'S AUTOMATIC MECHANISM

Nguyễn Thế Lực, Trần Văn Tân*, Hoàng Xuân Thiện, Nông Thanh Tú

Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

*Email tác giả liên hệ: tranvantan@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp giải bài toán động lực học máy tự động súng máy phòng không 14,5mm có tính đến ảnh hưởng của lực cản dây băng nhằm xác định quy luật chuyển động các khâu của máy tự động. Trên cơ sở nguyên lý nòng lùi ngắn, cơ cấu gia tốc không gian và tiếp đạn bằng băng mắt kín, bài báo thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động bằng phương pháp Lagrange loại II. Kết quả khảo sát cho thấy khi tăng khối lượng mắt băng hoặc số lượng đạn treo trong thùng, lực cản dây băng làm tăng thời gian hoạt động máy của tự động. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng không đáng kể ngay cả trong trường hợp đặc biệt với số lượng đạn 30 viên ở mặt nghiêng và treo trong thùng đạn thì thời gian chu kỳ chỉ tăng thêm khoảng 2ms, điều này vẫn đảm bảo tốc độ bắn thực tế của súng. Các kết quả thu được là cơ sở khoa học để đánh giá độ tin cậy của hệ thống trong các điều kiện nạp đạn khác nhau cũng như trong quá trình thiết kế cải tiến thùng đạn, cơ cấu nạp đạn nhằm nâng cao khả năng tác chiến và duy trì nhịp bắn ổn định cho súng máy phòng không 14,5mm.

Từ khóa: Súng máy phòng không 14,5mm; Lực cản dây băng; Máy tự động.

ABSTRACT

This paper presents a method for solving the dynamic problem of the automatic mechanism of a 14.5 mm anti-aircraft machine gun while considering the influence of ammunition-belt resistance in order to determine the motion laws of the automatic operating components. Based on the short-recoil operating principle, a spatial accelerator mechanism, and a closed-link belt-feeding system, a system of differential equations describing the motion of the automatic mechanism is established using the second-order Lagrange method. The investigation results indicate that increasing either the belt-link mass or the number of cartridges suspended in the ammunition box increases the ammunition-belt resistance force, thereby prolonging the automatic cycle time. However, the magnitude of this influence is negligible. Even under the most unfavorable loading condition, when 30 cartridges are suspended in the ammunition box and must slide along the feed ramp before reaching the ready-to-feed position, the cycle time increases by only approximately 2 ms. Such a small variation has an insignificant effect on the practical rate of fire of the weapon. The obtained results provide a scientific basis for evaluating the reliability of the system under various ammunition-feeding conditions. Furthermore, they can be applied to the design and optimization of ammunition boxes and feeding mechanisms to enhance combat effectiveness and maintain a stable firing rate of the 14.5 mm anti-aircraft machine gun.

Keywords: 14.5mm Anti-aircraft machine gun; Belt pull force; Automatic mechanism.

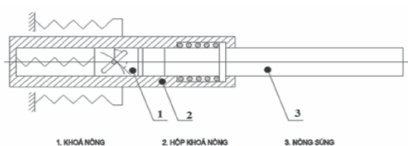
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nâng cao tốc độ bắn thực tế và duy trì ổn định của loạt đạn là một trong những yêu cầu đặt ra đối với vũ khí phòng không hiện nay. Trong đó, cơ cấu tiếp đạn ảnh hưởng không nhỏ đến nhịp bắn và sự làm việc của máy tự động. Súng máy 14,5mm sử dụng nguyên lý nòng lùi ngắn và hệ thống tiếp đạn bằng băng mắt kín, trong đó một phần năng lượng lùi được sử dụng để kéo băng.

Với mục đích xem xét việc nâng số lượng viên đạn trong hộp đạn để tăng tốc độ bắn thực tế, bài báo trung nghiên cứu sự thay đổi của lực cản dây băng theo số lượng viên đạn trong hộp. Thông qua việc xây dựng mô hình toán học khảo sát ảnh hưởng của nó đến quy luật chuyển động của các khâu. Kết quả nghiên cứu là cơ sở quan trọng để đánh giá khả năng làm việc tin cậy của súng trong điều kiện số lượng đạn khác nhau, đồng thời hỗ trợ trong việc thiết kế, cải tiến các bộ phận nạp đạn cho các dòng vũ khí tự động có tốc độ bắn lớn.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Năng lượng hoạt động của cơ cấu tự động là sử dụng năng lượng lùi của nòng cung cấp cho các cơ cấu tự động. Mô hình động lực học này cũng được áp dụng chung cho các loại vũ khí hoạt động trên nguyên lý nòng lùi ngắn, có nghĩa rằng dựa vào mô hình này, ta lập được phương trình vi phân chuyển động của máy tự động và giải ra được các thông số cần thiết cho hệ vũ khí có nòng lùi ngắn.



Hình 1. Mô hình đơn giản hóa hệ khóa nòng – hộp khóa nòng – nòng

Để đơn giản hóa bài toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết, ta đưa vào một số giả thiết sau: coi các khâu là vật cứng tuyệt đối, trừ lò xo là khâu đàn hồi, các khớp động không có khe hở. Trong mô hình này giả được gần cứng và sử dụng bộ phận giảm giạt một chiều. Dùng phương pháp thay thế khối lượng tương đương thay cho khối lượng phân bố để lập sơ đồ tính toán và dùng khái niệm hiệu suất để xét liên kết thực.

Trong phạm vi bài báo, súng 14,5 mm được mô hình hóa cụ thể bởi 3 vật, đó là:

+ Vật 1: Khóa nòng. Gồm có: đầu khóa nòng, bệ khóa nòng, trục con lăn, kim hỏa, lò xo khóa nòng. Vật 1 có khối lượng m_{kn} .

+ Vật 2: Hộp súng. Gồm có: hộp súng và các chi tiết gắn với hộp súng. Vật 2 có khối lượng m_k .

+ Vật 3: Nòng súng. Gồm có: nòng súng, loa che lửa, bao nòng. Vật 3 có khối lượng m_n .

Phương trình vi phân chuyển động được thiết lập thông qua phương trình Lagrange loại II trong hệ tọa độ suy rộng [1]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = Q_j \quad (j=1, 2, 3) \quad (1)$$

T, Π tương ứng là động năng, thế năng của hệ thống; $q_j, \dot{q}_j$ là tọa độ, tốc độ suy rộng của hệ; Q_j là lực suy rộng; t là thời gian; j là chỉ số bậc tự do tương ứng của hệ, trong trường hợp này lấy:

$X = q_1$ - Tọa độ xác định vị trí của khâu cơ sở đối với hộp súng; $X_k = q_2$ - Tọa độ vị trí của hộp súng đối với giá súng; $X_y = q_3$ - Tọa độ xác định vị trí giá súng.

Động năng của hệ với n là số khâu làm việc [2, 3]:

$$T = \frac{1}{2} m_n \cdot V^2 + \frac{1}{2} m_k \cdot V_k^2 + \frac{1}{2} m_y \cdot V_y^2 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i \cdot V_i^2 \quad (2)$$

Biểu thức tốc độ tuyệt đối qua tốc độ suy rộng:

$$V^2 = (\dot{X} + \dot{X}_k)^2; V_k = \dot{X}_k; V_y = \dot{X}_y$$

Đạo hàm động năng, thế năng của hệ được viết lại thành:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{X}} \right) &= \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i m_i \right) \ddot{X} + \dot{X} \frac{d}{dt} \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i m_i \right) + \\ &\quad \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i \cos \alpha_i \right) \ddot{X}_k + \dot{X}_k \frac{d}{dt} \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i \cos \alpha_i \right) \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_k} \right) &= \left(m_0 + m_k + \sum_{i=1}^n K_i m_i \right) \ddot{X}_k + \dot{X}_k \frac{d}{dt} \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i m_i \right) \cdot \dot{X} \\ \frac{\partial T}{\partial X} &= \frac{\dot{X}}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial X} \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i m_i \right) + \dot{X} \cdot \dot{X}_k \frac{\partial}{\partial X} \left(m_0 + \sum_{i=1}^n K_i m_i \cos \alpha_i \right) \end{aligned}$$

Thế năng của hệ:

$$\Pi = \frac{1}{2} \left(k_o X^2 + k_a (X_k - X_y)^2 + k_y X_y^2 \right) \quad (3)$$

Trong đó: k_o là độ cứng lò xo đẩy về của nòng, k_a là độ cứng lò xo của cơ cấu giảm giật, k_y là độ cứng của giá.

Lực suy rộng của hệ:

$$\begin{cases} Q_1 = P_n - \Pi_{on} + \sum_{i=1}^n K_i P_i - \sum_{i=1}^n F_{ni} - \sum_{i=1}^n K_i F_i \\ Q_2 = P_k - \Pi_{og} \text{sign} \dot{X}_k - F_{ig} \text{sign} \dot{X}_k \\ Q_3 = \Pi_{og} \text{sign} \dot{X}_k + F_{ig} \text{sign} \dot{X}_k \end{cases} \quad (4)$$

F_i - Lực tác động ma sát tác động lên hộp súng của các khâu; F_{ni} - Lực ma sát của các khâu; P_n - Ngoại lực đặt lên các khâu cơ sở (lực khí thuốc tác dụng lên piston...); P_i - Các ngoại lực đặt lên các khâu thành phần (lực cản dây băng...); P_k - Ngoại lực tác động lên hộp súng (lực khí thuốc tác dụng lên đẩy nòng...);

Π_{on} - Lực nén ban đầu của lò xo nòng; Π_{og} - Lực nén ban đầu của lò xo giảm giật.

Các lực tác dụng lên khâu cơ sở bao gồm: Lực của áp suất khí thuốc khi đạn chuyển động trong nòng, khi đạn ra khỏi nòng; Lực lò xo nòng, lò xo khóa nòng, lò xo giảm giật; Lực ma sát của nòng với hộp súng, lực ma sát của khóa nòng với hộp súng, lực ma sát của hộp súng với giá; Lực cản của cơ cấu tiếp đạn; Lực rút vỏ đạn.

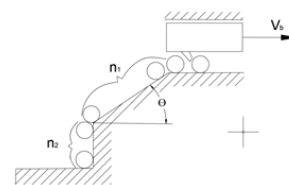
Trong đó, lực cản dây băng F_b sẽ trực tiếp đóng góp vào thành phần lực suy rộng Q_i , ảnh hưởng đến vận tốc và gia tốc của bộ khóa nòng trong suốt hành trình lùi và tiến.

3. XÁC ĐỊNH LỰC CẢN DÂY BĂNG

Cơ cấu tiếp đạn của 14,5mm hoạt động nhờ năng lượng của khóa nòng truyền qua liên kết cam loại 1 với bàn kéo băng trong hành trình lùi và đẩy lên của khóa nòng, xem hình 2. Công thức tổng quát của lực cản dây băng được xác định như sau [2, 4]:

$$F_b = K_b \sqrt{K \mu} V_b + n_1 \mu g (\sin \theta + f \cos \theta) + n_2 \mu g \quad (5)$$

Trong đó: n_1 là số đạn nằm trên mặt nghiêng có góc nghiêng (góc kéo băng) θ ; n_2 là số đạn treo trong thùng đạn; f là hệ số ma sát; K là độ cứng của mặt băng; μ là trọng lượng một mét băng có đạn; V_b là vận tốc của bộ khóa nòng; $K_b = 1.1$ là hệ số tính đến sự khác nhau về lực giữa các mặt băng.



Hình 2. Sơ đồ tính lực cản dây băng

Lực này tác dụng vào đoạn 7: $0,6\text{dm} < x < 2,22\text{dm}$, là hành trình kéo đạn vào, đưa một viên đạn vào vị trí chờ tiếp đạn và là lực cản.

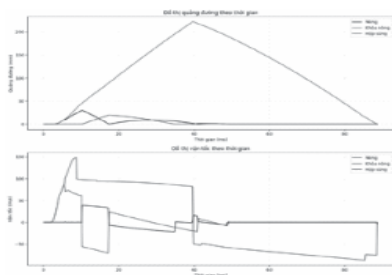
4. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG TRONG CHU KỲ TỰ ĐỘNG

Lực cản dây băng không tác động trong toàn bộ chu kỳ mà tập trung chủ yếu vào đoạn từ $0,6\text{ dm}$ đến $2,22\text{ dm}$ của hành trình khóa nòng. Đây là giai đoạn khóa nòng thực hiện đồng thời việc kéo dây băng và tổng đạn vào buồng đạn [5, 6].

Khi khối lượng mắtbăng tăng lên hoặc số lượng đạn trên mắttiếp đạn và treo trong buồng đạn thay đổi sẽ ảnh hưởng đáng kể đến lực cản dây băng. Điều này làm thay đổi chu trình làm việc của máy tự động, trường hợp xấu nhất có thể làm cho máy tự động không hoàn thành hết được một chu trình, bệ khóa không lùi hết về sau dẫn đến kẹt đạn. Do đó, ta khảo sát ảnh hưởng của sự thay đổi của khối lượng mắtbăng μ và số lượng đạn nằm trong mắtnghiêng và treo trong thùng n_1 và n_2 .

4.1. Ảnh hưởng của sự thay đổi khối lượng mắtbăng

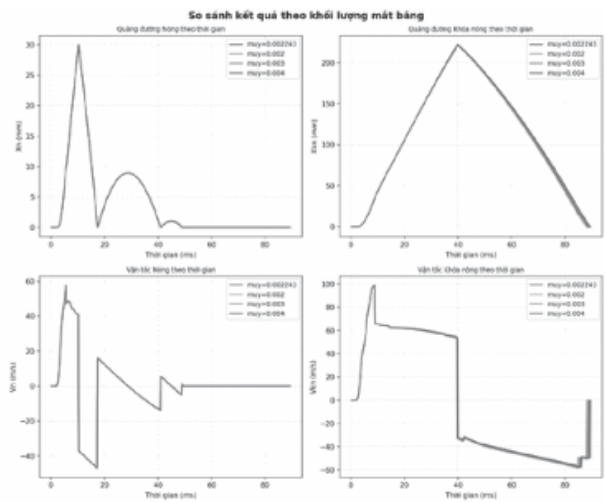
Ta khảo sát ảnh hưởng của sự thay đổi khối lượng mắtbăng với giá trị tham khảo của súng máy phòng không 14,5mm có $\mu = 0,002243\text{ kg}$.



Hình 3. Đồ thị quãng đường và vận tốc theo thời gian với $\mu = 0,002243\text{ kg}$

Thay đổi μ với các giá trị $\mu = [0,002; 0,003; 0,004]$, ta được đồ thị quãng đường và vận tốc theo thời gian, xem Hình 4.

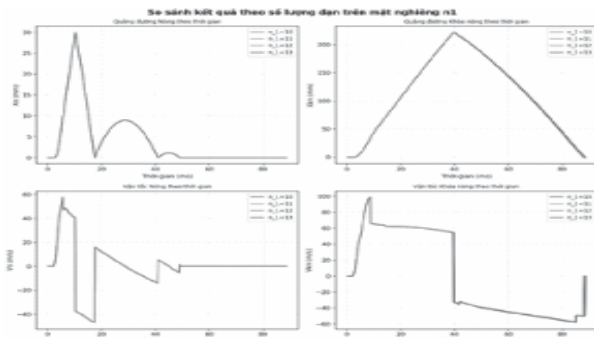
Kết quả thu được khi cho $\mu = [0,002; 0,002243; 0,003; 0,004]\text{ kg}$ tổng thời gian thực hiện một chu trình làm việc của máy tự động là $T_{ct} = [0,08805; 0,08865; 0,08905; 0,08945]\text{ s}$, khi khối lượng mắtbăng tăng lên thì lực cản tăng lên, do đó thời gian thực hiện một chu trình làm việc của máy tự động cũng dài hơn.



Hình 4. Đồ thị quãng đường và vận tốc nòng, khóa nòng theo thời gian

4.2. Ảnh hưởng của sự thay đổi số viên đạn trên mắtnghiêng và số viên đạn treo trong thùng

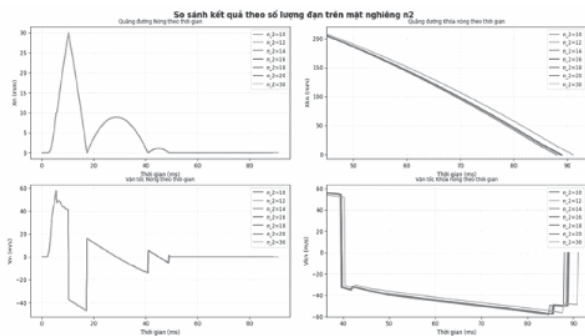
Về cơ bản khi số lượng đạn trên mắtnghiêng và số viên đạn treo trong thùng tăng lên thì hai biểu thức lực cản ở cuối phương trình (5) tăng lên, do đó giá trị lực cản dây băng sẽ tăng lên và làm chậm chu trình của máy tự động. Với súng máy phòng không 14,5mm, giá trị tham khảo là 10 viên đạn trên mắtnghiêng và 10 viên đạn treo trong thùng. Trước hết, ta khảo sát sự thay đổi số lượng đạn trên mắtnghiêng và giữ nguyên số lượng đạn treo trong thùng. Khi đó, đồ thị quãng đường và vận tốc theo thời gian khi thay đổi n_1 , n_2 được cho trong hình 5.



Hình 5. Đồ thị quỹ đạo và vận tốc nòng, khóa nòng theo thời gian ($n_2 = 10$ viên)

Kết quả ở Hình 5 chỉ ra rằng sự ảnh hưởng số lượng đạn n_1 là không đáng kể, do đó khi thiết kế chi cơ cấu tiếp đạn chỉ cần lựa chọn kích thước và góc θ phù hợp với kết cấu tổng thể của súng.

Tiếp theo khi ta giữ nguyên số lượng đạn trên mặt nghiêng và khảo sát ảnh hưởng của số lượng đạn n_2 . Ở đây, số lượng đạn treo trong thùng có dải giá trị cao hơn khi ta tính toán cho lớp đạn cuối trong thùng chứa đạn. Kết quả ở Hình 6 chỉ ra rằng thời gian thực hiện chu trình làm việc của máy tự động tăng lên khi số viên đạn treo trong thùng tăng lên, tuy nhiên ảnh hưởng này là khá nhỏ do đó tốc độ bắn của súng vẫn đảm bảo. Trong trường hợp đặc biệt khi n_1 và n_2 đều là 30 viên thì thời gian thực hiện chu trình làm việc của máy tự động chỉ tăng lên khoảng 2ms.



Hình 6. Đồ thị quỹ đạo và vận tốc nòng, khóa nòng theo thời gian ($n_1 = 10$ viên)

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình động lực học máy tự động súng máy phòng không 14,5mm có tính đến lực cản dây băng. Các kết quả chỉ ra rằng khi tăng số lượng viên đạn trong thùng có tính đến sự thay đổi số lượng viên đạn trên mặt nghiêng và treo trong thùng thì chu kỳ làm việc của máy tự động tăng lên. Tuy nhiên, ảnh hưởng này khá nhỏ và tốc độ bắn vẫn đảm bảo. Kết quả làm cơ sở cho việc cải tiến thùng đạn cũng như cơ cấu tiếp đạn súng máy phòng không 14,5mm.

Bài báo là sản phẩm của đề tài cấp Học viện mã số 25.2.03.❖

Ngày nhận bài: 25/5/2026

Ngày phản biện: 04/6/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Huy Chương, “Thiết kế vũ khí tự động”. Học viện Kỹ thuật quân sự, 1991.
- [2]. Phạm Huy Chương, “Giáo trình cơ sở kết cấu và tính toán thiết kế máy tự động”. Học viện Kỹ thuật quân sự, 1998.
- [3]. Phan Nguyên Thiệu, Khổng Đình Tuy, Nguyễn Trường Sinh, Trương Tư Hiếu, “Trang bị điển hình vũ khí tổng hợp (Phần V – Trang bị điển hình súng bộ binh)”. Bộ môn Vũ khí - Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2004.
- [4]. Nghiêm Xuân Trinh, Nguyễn Quang Lượng, Nguyễn Trung Hiếu, Ngô Văn Quảng, “Thuật phóng trong”. Bộ môn Thuật phóng và Điều khiển hỏa lực - Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2015.
- [5]. Cục quân khí, “Bình khí súng pháo phòng không”. NXB. Cục Quân khí, Tổng cục Kỹ thuật, 2000.
- [6]. Lương Hồng Sâm, “Khảo sát động lực học cơ cấu cam dựa trên mô hình súng máy 14,5mm”. Luận văn cao học, 1996.