

CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG ĐƯỜNG CAM LÀM VIỆC CỦA SÚNG MÁY SM7,62-6N KIỂU MINIGUN M134

THEORETICAL FOUNDATION FOR DESIGNING THE CAM TRACK OF THE SM7.62-6N MINIGUN M134 MACHINE GUN

KS. Nguyễn Giang Châu¹, ThS. Tạ Bá Dũng², ThS. Nguyễn Xuân Kông³

¹Nhà máy Z111, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

²Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng

³Trường Cao đẳng Kỹ thuật quân sự 1, Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày lý thuyết và phương pháp thiết kế đường cam làm việc cho hệ súng máy SM7,62-6N hoạt động theo nguyên lý Gatling. Nghiên cứu phân tích chi tiết các thành phần cấu thành đường cam làm việc, bao gồm các đoạn tăng tốc, giảm tốc và các vị trí hoạt động của cơ cấu đóng khóa nòng trong chu kỳ bắn. Đặc biệt, bài báo so sánh ưu nhược điểm giữa hình dạng parabolic và đường cong không va chạm, đồng thời đưa ra các công thức tối ưu hóa nhằm giảm thiểu ứng suất cơ học và đảm bảo hoạt động ổn định của hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy đường cam làm việc không va chạm với dạng hình sin biến đổi mang lại hiệu quả vận hành tối ưu, giảm va chạm so với hình dạng parabolic truyền thống.

Từ khóa: Gatling; Cơ cấu cam; Súng máy minigun M134.

ABSTRACT

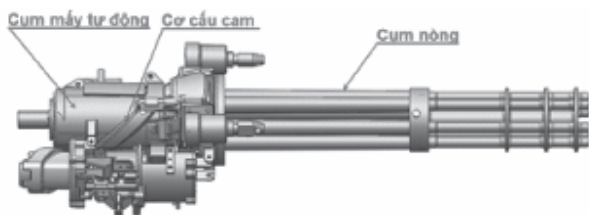
This paper presents the theory and methodology for designing the cam track for the SM7.62-6N machine gun system operating on the Gatling principle. The study analyzes in detail the components constituting the cam track, including acceleration and deceleration segments and the operational positions of the barrel locking mechanism during the firing cycle. Specifically, the paper compares the advantages and disadvantages between parabolic shapes and non-collision curves, while providing optimization formulas aimed at minimizing mechanical stress and ensuring stable system operation. Research results indicate that the non-collision cam track with modified sinusoidal form delivers optimal operational efficiency, reducing impact compared to traditional parabolic shapes.

Keywords: Gatling; Cam mechanism; Minigun M134 machine gun.

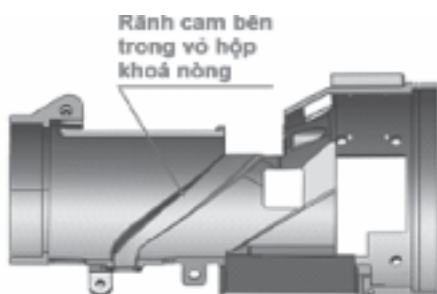


1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Súng máy SM7,62-6N được thiết kế theo nguyên lý Gatling để đạt tốc độ bắn cực cao. Nguyên lý hoạt động dựa trên việc sử dụng nhiều nòng súng quay quanh trục chung, mỗi nòng thực hiện các pha khác nhau của chu kỳ bắn. Yếu tố quyết định hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống này chính là thiết kế đường cam làm việc (đường cong chức năng) – một rãnh dẫn hướng điều khiển chuyển động của các cơ cấu đóng, mở khóa nòng.



Hình 1. Súng máy SM7,62-6N



Hình 2. Đường cam làm việc

Đường cam làm việc đóng vai trò như một bộ điều khiển cơ học, đảm bảo đồng bộ hóa hoạt động của tất cả các bộ phận của súng. Tuy nhiên, việc thiết kế đường cong này đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về động học, động lực học và lý thuyết tối ưu hóa.

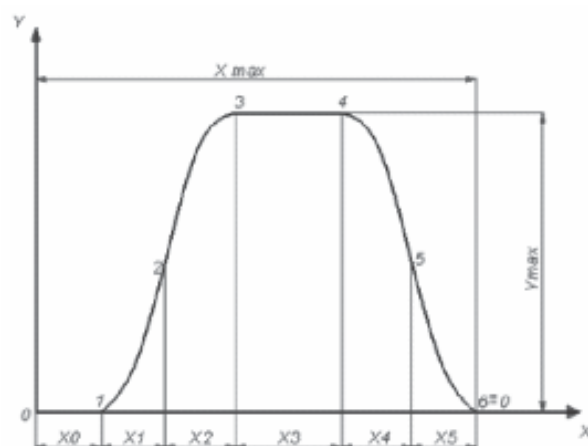
Mục tiêu của bài báo này là xây dựng khung lý thuyết cho việc thiết kế đường cam làm việc, từ đó đưa ra phương pháp tối ưu hóa nhằm nâng cao hiệu suất và tuổi thọ của hệ thống vũ khí Gatling.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

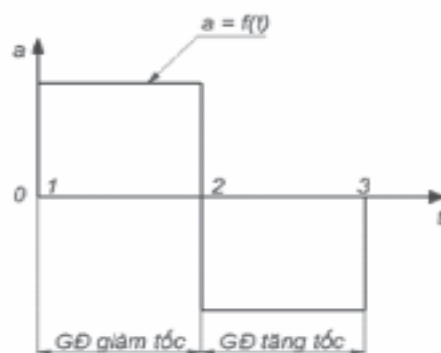
2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động

Hệ thống súng máy SM7,62-6N bao gồm cụm 6 nòng súng quay quanh trục trung tâm. Mỗi nòng súng được trang bị một cơ cấu đóng, mở khóa nòng riêng biệt, có con lăn tiếp xúc với đường cam làm việc được gia công trên vỏ hộp khóa nòng. Khi cụm nòng quay, con lăn di chuyển dọc theo đường cam, tạo ra chuyển động tịnh tiến của cơ cấu khóa nòng theo chu kỳ định sẵn.

2.2. Định nghĩa đường cam làm việc



Hình 3. Sơ đồ đường cam làm việc lý thuyết



Hình 4. Gia tốc cơ cấu khóa nòng khi đường cam làm việc có hình dạng parabolic

Đường cam làm việc được biểu diễn trong hệ tọa độ (x, y) với:

- Tọa độ x : Khoảng cách cung tròn từ điểm gốc, có giá trị tối đa $x_{\max} = 2\pi r$;
- Tọa độ y : Độ dịch chuyển của cơ cấu khóa nòng theo phương trục nòng súng;
- Bán kính r : Khoảng cách từ trục quay đến tâm tiếp xúc con lăn-đường cong.

2.3. Phân tích các đoạn chức năng

Đường cam làm việc được chia thành 6 đoạn chính:

- x_0 : Đoạn bắn - cơ cấu khóa nòng được khóa cố định ở vị trí phía trước;
- x_1 : Đoạn tăng tốc cơ cấu khóa nòng khi chuyển động lùi;
- x_2 : Đoạn giảm tốc trong chuyển động lùi;
- x_3 : Đoạn đẩy vỏ đạn và cấp đạn mới;
- x_4 : Đoạn tăng tốc cơ cấu khóa nòng chuyển động tiến;
- x_5 : Đoạn giảm tốc trong chuyển động tiến.

Mỗi đoạn có vai trò riêng biệt và đòi hỏi tính toán chính xác để đảm bảo đồng bộ hóa chính xác.

3. PHÂN TÍCH TOÁN HỌC VÀ MÔ HÌNH HÓA

3.1. Chuyển đổi hệ tọa độ

Để phân tích động học của hệ thống, cần chuyển đổi từ mô tả không gian $y = f(x)$ sang mô tả thời gian $y = f(t)$.

Thời gian tương ứng với một vòng quay: $x_{\max} = r\omega t_{fc}$ (1)

Quan hệ tổng quát: $x = r\omega t$ (2)

Tốc độ góc: $\omega = 2\pi n_f$ (3)

Trong đó:

- t_{fc} : Thời gian chu kỳ chức năng;
- $n_r = k_G/i_h$: Tần số quay;
- k_G : Tốc độ bắn (phát/phút);
- i_h : Số lượng nòng súng.

Từ các quan hệ trên, ta có:

$$x_{\max} = 2\pi r(k_G/i_h).t_{fc} \quad (5)$$

Và thời gian chu kỳ làm việc:

$$t_{fc} = (i_h/2\pi r k_G).x_{\max} \quad (6)$$

Từ các công thức trên có thể chọn hình dạng parabolic cho các đoạn tăng tốc và giảm tốc. Hình 4 cho thấy sự thay đổi gia tốc của khóa nòng trong đoạn tăng tốc và đoạn giảm tốc khi cam làm việc có hình dạng parabolic. Ở đầu đoạn tăng tốc, gia tốc tăng ngay lập tức lên giá trị không đổi và khi chuyển từ đoạn tăng tốc sang đoạn giảm tốc, giá trị của gia tốc thay đổi ngay lập tức về giá trị âm. Ở cuối đoạn giảm tốc, gia tốc lại ngay lập tức giảm về không. Từ quá trình này có thể thấy rằng với hình dạng parabolic của đường cam thì xảy ra va chạm tác động lên con lăn của cơ cấu khóa nòng. Điều này không phù hợp vì súng hoạt động với tốc độ lớn sẽ gây va chạm liên tục ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ ổn định cũng như tuổi thọ của máy tự động. Vì vậy cần phải tìm cho đường cam làm việc một hình dạng đảm bảo hoạt động của khóa nòng là không va chạm khi làm việc.

3.2. So sánh hình dạng parabolic và không va chạm

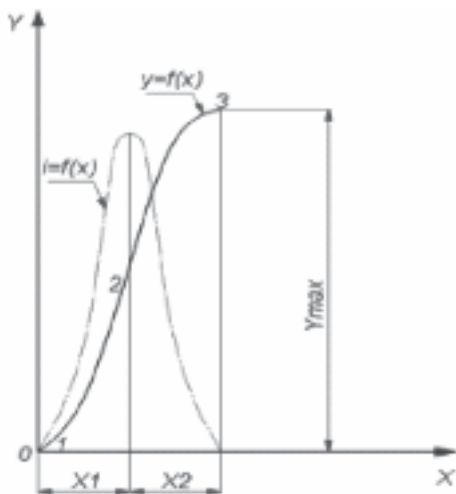
3.2.1. Hình dạng parabolic



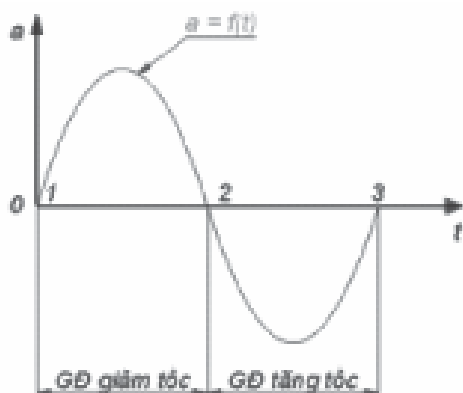
Hình dạng parabolic tuy đơn giản về mặt toán học nhưng tạo ra gia tốc không đổi trong các đoạn tăng tốc và giảm tốc. Điều này dẫn đến hiện tượng va chạm đột ngột tại các điểm chuyển tiếp, từ đó gây ra các yếu tố bất lợi như sau:

- Tăng ứng suất cơ học;
- Giảm tuổi thọ con lăn và đường cong;
- Tạo rung động và tiếng ồn.

3.2.2. Đường cong không va chạm



Hình 5. Đường cam làm việc và hàm truyền dạng không va chạm



Hình 6. Gia tốc cơ cấu khóa nòng khi đường cam làm việc dạng không va chạm với các đoạn tăng tốc và giảm tốc

Để khắc phục nhược điểm trên, đường cong không va chạm được thiết kế với hình dạng sin biến đổi:

- Đoạn tăng tốc:

$$y_{zr} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[x - \frac{x_1}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{x_1} x \right) \right] \quad (7)$$

- Đoạn giảm tốc:

$$y_{zp} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[x + \frac{x_2}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{x_2} (x - x_1) \right) \right] \quad (8)$$

Các mối quan hệ cho hàm truyền của cơ cấu $i_{zr} = f(x)$ thu được bằng cách lấy đạo hàm của các phương trình (7) và (8) theo x.

- Hàm truyền tương ứng:

$$i_{zr} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi}{x_1} x \right) \right] \quad (9)$$

$$i_{zp} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{x_2} (x - x_1) \right) \right] \quad (10)$$

Hình dạng đường cam làm việc $y = f(x)$ (cho đoạn tăng tốc và giảm tốc) và dạng của hàm truyền $i = f(x)$ cho đường cam làm việc này được thể hiện trên hình 5. Hàm truyền động i được cho bởi tỷ lệ tốc độ theo hướng trục y và tốc độ theo hướng trục x, đường cong $i = f(x)$ cho thấy các giai đoạn tăng tốc và giảm tốc liên tục không va chạm của cơ cấu khóa nòng khi quay cụm nòng.

3.3. Phân tích gia tốc

Thay x từ công thức (2) và công thức (7) và (8), ta được hàm $y = f(t)$ như sau:

$$y_{zr} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[\omega t - \frac{x_1}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{x_1} \omega t \right) \right] \quad (11)$$

$$y_{zp} = \frac{y_{\max}}{x_1 + x_2} \left[r\omega t + \frac{x_2}{\pi} \sin \left(\frac{\pi}{x_2} (r\omega t - x_1) \right) \right] \quad (12)$$

Khi đó, gia tốc trên hai đoạn giảm tốc là:

$$a_{zr} = \frac{d^2 y_{acc}}{dt^2} = \frac{y_{\max} r^2 \omega^2}{x_1 + x_2} \frac{\pi}{x_1} \sin \left(\frac{\pi}{x_1} r\omega t \right) \quad (13)$$

$$a_{zp} = \frac{d^2 y_{dec}}{dt^2} = -\frac{y_{\max} r^2 \omega^2}{x_1 + x_2} \frac{\pi}{x_2} \sin \left(\frac{\pi}{x_2} (r\omega t - x_1) \right) \quad (14)$$

Sử dụng các phương trình (13), (14), ta được diễn biến gia tốc của cơ cấu khóa nòng khi chuyển động như thể hiện trên hình 6. Gia tốc thay đổi liên tục từ không đến giá trị dương tối đa và từ đó lại liên tục giảm đến giá trị âm tối đa rồi quay về không. Do đó, tải trọng tác động trong rãnh cam lên con lăn là không va chạm. Biết rằng hàm sin có thể đạt giá trị cao nhất ± 1 , thì các giá trị gia tốc tối đa khi chuyển động lùi của cơ cấu khóa nòng bởi các mối quan hệ sau:

$$a_{zr \max} = \frac{y_{\max} r^2 \omega^2}{x_1 + x_2} \frac{\pi}{x_1} \quad (15)$$

$$a_{zp} = \frac{y_{\max} r^2 \omega^2}{x_1 + x_2} \frac{\pi}{x_2} \quad (16)$$

Trong thời kỳ chuyển động tiến của cơ cấu khóa nòng, lời giải cho hình dạng đường cam là tương tự.

3.4. Kết luận

Từ phân tích ở trên và các công thức (15) và (16) cho thấy rằng khi tìm kiếm hình dạng tối ưu của đường cam làm việc không thể thay đổi tốc độ góc của cụm nòng ω (phụ thuộc vào tốc độ bắn yêu cầu), cũng như bán kính r (xuất phát từ độ bền của cụm nòng). Do đó, trong quá trình tối ưu hóa này cần phải phù hợp với các công thức (15) và (16) chọn $y_{\max}$ càng

ngắn càng tốt và các đoạn tăng tốc và giảm tốc của đường cam làm việc càng dài càng tốt.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng khung lý thuyết tổng quát cho thiết kế đường cam làm việc của hệ thống súng máy SM7,62-6N. Các đóng góp chính bao gồm:

- Mô hình toán học hoàn chỉnh mô tả mối quan hệ giữa hình học đường cong và động học hệ thống;
- Phương pháp lựa chọn tối ưu hóa dựa trên tiêu chí giảm thiểu gia tốc tối đa và va chạm cơ học;
- Phân tích so sánh giữa hình dạng parabolic và đường cong không va chạm.

Kết quả nghiên cứu không chỉ có giá trị lý thuyết mà còn được chứng minh qua việc chế tạo súng SM7,62-6N tại nhà máy của Tổng cục Công nghiệp quốc phòng. Việc áp dụng đường cong chức năng không va chạm đã cải thiện đáng kể hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống vũ khí. ♦

Ngày nhận bài: 15/9/2025

Ngày phản biện: 26/9/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. “Mechanical Engineering Design of Gatling Gun Systems”. Journal of Defense Technology, 2023.
- [2]. “Optimization of Functional Curves in Rotating Weapon Systems”. International Journal of Military Engineering, 2022.
- [3]. Nguyễn Ngọc Du, Đỗ Văn Thọ, “Thuật phóng trong của súng pháo”. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 1976.
- [4]. Phạm Huy Chương, “Động lực học vũ khí tự động”. Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội, 2002.