

MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ THỐNG VŨ KHÍ TỰ ĐỘNG CỖ NHỎ GẮN TRÊN ROBOT CHIẾN ĐẤU KHI BẮN

DYNAMICS MODEL OF SMALL AUTOMATIC WEAPON SYSTEM
MOUNTED ON A FIGHTING ROBOT WHEN FIRING

Võ Văn Biên^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.011>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một phương pháp thiết lập mô hình động lực học của vũ khí tự động cỡ nhỏ lắp trên Robot chiến đấu khi bắn trong không gian. Mô hình toán học được thiết lập dựa trên định lý Lagrange loại 2 và lý thuyết cơ học hệ nhiều vật. Mô hình động lực học của cơ hệ gồm có bốn vật rắn với năm bậc tự do. Việc sử dụng mô hình động lực học giúp phân tích và đánh giá chính xác hơn tác động của lực phát bắn đến độ ổn định của vũ khí khi lắp trên Robot chiến đấu. Giá trị lực phát bắn của vũ khí tác động lên cơ hệ trong quá trình bắn được xác định bằng thực nghiệm cho cả hai trường hợp: bắn phát một và bắn loạt ngắn. Mô phỏng động lực học được thực hiện bằng phương pháp số và được áp dụng đối với Robot chiến đấu do Học viện Kỹ thuật quân sự thiết kế, chế tạo kết hợp với súng tiểu liên AKM. Kết quả thu được từ nghiên cứu này có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các nhà thiết kế trong quá trình thiết kế nhằm tối ưu hóa cấu trúc tổng thể của vũ khí tự động cỡ nhỏ khi lắp trên Robot.

Từ khóa: Vũ khí tự động, robot chiến đấu, lực phát bắn, độ ổn định bắn.

ABSTRACT

This paper presents a method to establish the dynamics model of the small automatic weapons mounted on the fighting Robot when firing in space. The math model has been established based on Lagrange's theorem of the second kind and the theory of multibody system dynamics. The dynamic model of the mechanical system consists of four rigid bodies with five degrees of freedom. The use of dynamic model helps to analyze and evaluate more accurately the impact of the firing force on the firing stability of the weapon when mounted on a fighting Robot. The value of the weapon's firing force acting on the mechanical system during firing was determined experimentally for both cases: single shot and short burst firing. Dynamics simulation is performed by numerical method and applied to the fighting Robot designed and manufactured by the Military Technical Academy combined with AKM submachine gun. The results obtained from this study can be used as a reference for designers in the design process to optimize the overall structure of small automatic weapons when mounted on the Robot.

Keywords: Automatic weapons, fighting robot, firing force, firing stability.

¹Khoa Vũ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

*Email: vovanbien@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/10/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 09/01/2025

Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2025

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay cùng với những thành tựu đã đạt được trong lĩnh vực khoa học, công nghệ quân sự đặt ra những yêu cầu nghiên cứu các phương án tác chiến tối ưu, cho phép giảm thiểu tối đa sự hiện diện trực tiếp của con người trên chiến trường. Robot chiến trường ra đời như một xu thế tất yếu của chiến tranh hiện đại, đây là một thiết bị tự động, có thể hoạt động trong điều kiện môi trường đặc biệt như thực thi các nhiệm vụ dưới nước và tại các vùng bị nhiễm phóng xạ, rà phá bom mìn,... nhờ đó giảm thiểu sự tham gia chiến đấu của con người và hạn chế tổn thất về sinh lực. Có hai loại Robot chiến trường là Robot điều khiển từ xa (bán tự động) và Robot tự động - được lập trình để tự hoạt động. Giới nghiên cứu quân sự đã gọi Robot chiến trường là cuộc cách mạng công nghệ thứ ba, sau thuốc súng và vũ khí hạt nhân. Trên thế giới hiện nay đã có rất nhiều loại Robot chiến đấu, mà điển hình có thể kể đến một số loại như: Robot chiến đấu MAARS của Thủy quân Lục chiến Mỹ được trang bị khẩu súng máy M240 với 400 viên đạn, có thể hoạt động liên tục từ 3-12 giờ (hình 1); Robot Talon Sword lắp súng phóng lựu 4 nòng 66mm M202A1 FLASH (hình 2);...

Đi đôi với việc chế tạo các mẫu Robot, nhiều quốc gia đã đi sâu nghiên

cứ, phân tích động lực học của hệ thống vũ khí gắn trên Robot. Việc nghiên cứu động lực học của hệ thống vũ khí gắn trên Robot là lĩnh vực mới và đang thu hút nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu, đặc biệt là trong thời gian gần đây các mô hình động lực học của hệ thống vũ khí gắn trên phương tiện cơ động của các tác giả đã nghiên cứu sát hơn với điều kiện bắn thực tế. Tuy nhiên, đây là các công trình nghiên cứu thuộc lĩnh vực quân sự nên khả năng tiếp cận các công trình này còn gặp nhiều khó khăn. Một số nguồn tài liệu tiếp cận được như [1-8], cho thấy việc nghiên cứu động lực học vũ khí lắp trên phương tiện cơ động vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế như chỉ nghiên cứu các chuyển động được thực hiện trong mặt phẳng bắn; sử dụng nhiều giả thuyết để đơn giản hóa mô hình toán học;... nên phần nào còn có những hạn chế nhất định. Do đó, việc phân tích động lực học của hệ thống Robot chiến đấu vẫn chưa được khảo sát, đánh giá một cách đầy đủ và tin cậy.



Hình 1. Robot chiến đấu MAARS



Hình 2. Robot Talon Sword

Trước sự phù hợp với điều kiện chiến tranh mới, Robot chiến đấu sẽ có nhiều triển vọng được sử dụng rộng rãi trong tương lai. Các nhà nghiên cứu tại Học viện Kỹ thuật Quân sự đã có những nghiên cứu đột phá trong lĩnh vực

này, đặc biệt đã chế tạo thành công Robot quân sự mang vũ khí để thực hiện một số nhiệm vụ đặc biệt (hình 3). Tuy nhiên, đây vẫn là một lĩnh vực mới mẻ, còn đang trong giai đoạn nghiên cứu, thử nghiệm. Những đặc điểm chiến - kỹ thuật như tốc độ bắn, độ chính xác bắn của hệ thống vũ khí lắp trên Robot vẫn chưa thực sự hoàn thiện. Vì thế, việc nghiên cứu động lực học Robot chiến đấu cần phải được thực hiện một cách tỉ mỉ, đặt cơ sở lý luận cho việc nghiên cứu thiết kế tối ưu cấu trúc tổng thể của Robot chiến đấu.

Nghiên cứu khảo sát động lực học của hệ thống Robot - vũ khí trong tác chiến là cơ sở quan trọng để xây dựng các tham số kết cấu của Robot khi thiết kế nhằm thỏa mãn các yêu cầu kỹ - chiến thuật đề ra. Đặc biệt, nền công nghiệp quốc phòng nước ta đang nghiên cứu sản xuất các loại vũ khí bộ binh hiện đại, các loại vũ khí này khi được tích hợp trên Robot thông minh sẽ tạo ra hệ vũ khí mới có uy lực mạnh nâng cao năng lực tác chiến trên chiến trường. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở lý luận về một số tham số kết cấu của Robot nhằm đáp ứng độ ổn định và độ chính xác bắn của hệ thống Robot - vũ khí.



Hình 3. Robot mang vũ khí do Học viện Kỹ thuật Quân sự thiết kế, chế tạo

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH TOÁN HỌC

2.1. Các giả thiết và mô hình toán học của hệ vũ khí gắn trên Robot

Mô hình Robot - vũ khí được thiết kế với thân Robot gồm có ba bánh xe ở bên phải và ba bánh xe ở bên trái. Vũ khí tự động được gắn trên Robot thông qua cơ cấu tầm, cơ cấu hướng và các hệ thống giảm xóc. Mô hình Robot - vũ khí đã được thiết lập trong nghiên cứu này bằng cách sử dụng các giả thiết sau, các giả thiết này hoàn toàn phù hợp với với điều kiện chiến đấu của Robot trên chiến trường:

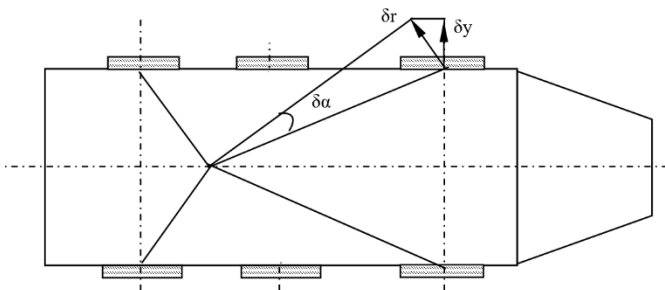
- Giả thiết 1: Các chi tiết và cụm chi tiết (trừ các chi tiết lò xo, các bánh xe và các hệ thống treo) được coi là các vật rắn tuyệt đối cứng. Giả thiết này có thể chấp nhận được khi:

+ Bỏ qua khe hở trong các mối ghép;
+ Bỏ qua tính đàn hồi của vật liệu;
+ Các cụm liên kết được khóa chắc trong suốt quá trình bắn và được bỏ qua ma sát.

- Giả thiết 2: Các bánh xe không nghiêng theo chiều trục.

Các bánh xe được thay thế bằng các cụm đàn hồi có cản nhớt theo chiều thẳng đứng và chiều dọc thân xe. Theo chiều trục, các bánh xe được giả thiết là có độ cứng rất lớn và như vậy 6 bánh xe đảm bảo cho thân xe không có các chuyển vị theo chiều trục bánh xe.

Từ giả thiết này cũng có thể suy ra thân Robot không thể thực hiện di chuyển quay quanh trục thẳng đứng Z (hình 4), vì như vậy sẽ dẫn tới chuyển vị chiều trục của bánh xe.

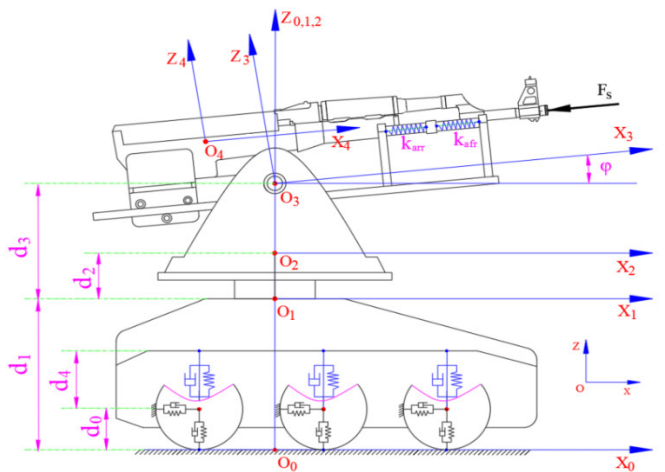


Hình 4. Sơ đồ thân xe quay quanh trục Z một góc $\delta\alpha$

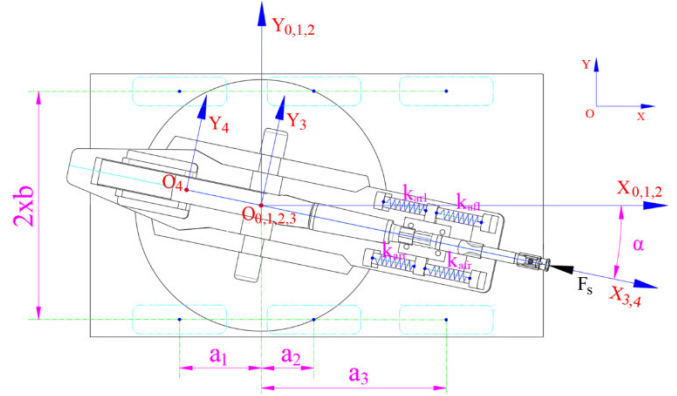
- Giả thiết 3: Nền đất bằng phẳng và có tính chất đều khắp.

Nền đất có tính đàn hồi, cản và ma sát sẽ tác dụng đều lên các bánh xe. Đặc tính này được tính vào thành phần đàn hồi - cản nhớt trên từng phần tử thay thế cho các cụm bánh xe.

- Giả thiết 4: Các hệ thống treo được giả thiết là đàn hồi tuyến tính có cản nhớt và chỉ tác dụng theo chiều thẳng đứng.



Hình 5. Mô hình Robot - vũ khí nhìn từ mặt bên



Hình 6. Mô hình Robot - vũ khí nhìn từ trên xuống

Dựa trên cấu trúc của mô hình thực, các mối liên kết của các cụm và các giả thiết, mô hình Robot chiến đấu được xây dựng theo quan điểm cơ học hệ nhiều vật (hình 5, 6). Ở trạng thái khảo sát tổng thể của cơ hệ: góc tầm φ , góc hướng α , Robot chiến đấu được đặt trên mặt đất bằng phẳng.

Hệ thống Robot - vũ khí gồm 4 vật rắn chịu các liên kết holoônôm, giữ, dừng: Thân Robot (vật 1); Khối quay hướng (vật 2); Khối quay tầm (vật 3); Súng và giá liên kết di động (vật 4). Khối lượng, vị trí trọng tâm và mô men quán tính của các vật được xác định thông qua phần mềm mô phỏng Solidwork.

Để quan sát và khảo sát cơ hệ, các vật rắn được gắn một hệ tọa độ Descartes như thể hiện trong hình 5 và 6, trong đó:

- $R_0 = (O_0X_0Y_0Z_0)$: biểu diễn hệ tọa độ cố định trên mặt đất;

- $R_k = (O_kX_kY_kZ_k)$: biểu diễn hệ tọa độ động gắn với các vật rắn thứ k , với $k = 1, 2, 3, 4$.

Từ các giả thuyết và liên kết giữa các vật thể, hệ thống Robot - vũ khí có 5 tọa độ suy rộng độc lập: $[q_j] = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5]$, trong đó: q_1 - dịch chuyển dọc của vật 1 theo trục X_0 ; q_2 - dịch chuyển dọc của vật 1 theo trục Z_0 ; q_3 - dịch chuyển góc của vật 1 quanh trục X_0 ; q_4 - dịch chuyển góc của vật 1 quanh trục Y_0 ; q_5 - dịch chuyển dọc của vật 4 theo trục X_3 .

Để thiết lập hệ phương trình vi phân của cơ hệ, trong nghiên cứu này sử dụng dạng thức Lagrange loại 2 viết dưới dạng ma trận như sau [9, 10]:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T^\Sigma}{\partial \dot{q}_j} \right] - \left[\frac{\partial T^\Sigma}{\partial q_j} \right] = Q_j \quad (j=1 \div 5) \quad (1)$$

Trong đó: T^Σ là tổng động năng của cơ hệ; q_j và $\dot{q}_j$ là các véc tơ tọa độ và vận tốc suy rộng của cơ hệ; Q_j là véc tơ lực suy rộng tác dụng lên cơ hệ ứng với tọa độ suy rộng q_j .

Đây là cơ sở để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ, còn gọi là mô hình toán học của hệ Robot - vũ khí trong quá trình tác chiến.

* Tổng động năng của cơ hệ

Tổng động năng của cơ hệ bằng tổng động năng của các vật thể thành phần trong cơ hệ, được xác định theo công thức sau:

$$T^{\Sigma} = \sum_{k=1}^4 T_k = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (2)$$

Động năng của vật rắn k được xác định theo biểu thức sau [9, 10]:

$$T_k = \frac{1}{2} (\dot{R}_k^T M_k \dot{R}_k + \bar{\omega}_k^T A_0^k I_k A_0^{kT} \bar{\omega}_k) \quad (3)$$

Trong đó: R_k là vectơ khối tâm của vật k trong hệ tọa độ cố định O_0 ; M_k là ma trận khối lượng của vật k; $\bar{\omega}_k$ là vec tơ vận tốc góc của vật k được biểu diễn trong hệ tọa độ cố định O_0 ; A_0^k là ma trận chuyển từ hệ tọa độ O_k sang hệ tọa độ cố định O_0 ; I_k là ma trận của ten xơ quán tính của vật k trong hệ tọa độ O_k .

Ví dụ, khi $k=1$ (vật 1), động năng của thân Robot được xác định theo công thức sau:

$$T_1 = \frac{1}{2} (\dot{R}_1^T M_1 \dot{R}_1 + \bar{\omega}_1^T A_0^1 I_1 A_0^{1T} \bar{\omega}_1) \quad (4)$$

Các ma trận và vectơ xuất hiện trong phương trình (4) được xác định như sau:

$$M_1 = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 \end{bmatrix}, I_1 = \begin{bmatrix} I_1^{xx} & I_1^{xy} & I_1^{xz} \\ I_1^{yx} & I_1^{yy} & I_1^{yz} \\ I_1^{zx} & I_1^{zy} & I_1^{zz} \end{bmatrix}$$

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & q_4 \\ 0 & 1 & -q_3 \\ -q_4 & q_3 & 1 \end{bmatrix}, \bar{\omega}_1 = \dot{A}_0^1 \cdot A_0^{1T} = [\dot{q}_3, \dot{q}_4, 0]$$

$$R_1 = r_0^1 + A_0^1 \cdot \bar{u}_1 = \begin{bmatrix} q_1 + u_{x1} + q_4 u_{z1} \\ -q_3 u_{z1} \\ d_1 + q_2 + u_{z1} - q_4 u_{x1} \end{bmatrix}$$

$r_0^1 = [q_1, 0, q_2 + d_1]^T$; r_0^1 là vị trí gốc tọa độ O_1 trong hệ tọa độ cố định O_0 .

$\bar{u}_1 = [u_{x1}, 0, u_{z1}]$; $\bar{u}_1$ là vec tơ xác định vị trí của trọng tâm của vật 1 trong hệ tọa độ động O_1 .

Ở đây, do các dịch chuyển góc là dao động nhỏ nên coi $\sin(q) \approx q$; $\cos(q) \approx 1$.

* Công khả dĩ và lực suy rộng

Công khả dĩ và lực suy rộng được xác định như sau [9]:

Xét công khả dĩ của lực suy rộng tổng quát F_k và mô men M_k :

$$\delta W F_k = \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^5 F_k^T \frac{\partial R_k}{\partial q_j} = \sum_{j=1}^5 \left[\sum_{k=1}^4 F_k^T \frac{\partial R_k}{\partial q_j} \right] \delta q_j \quad (5)$$

$$\delta W M_k = \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^5 M_k^T \frac{\partial \theta_k}{\partial q_j} = \sum_{j=1}^5 \left[\sum_{k=1}^4 M_k^T \frac{\partial \theta_k}{\partial q_j} \right] \delta q_j \quad (6)$$

Nếu các liên kết trong cơ hệ được coi là lý tưởng, bỏ qua lực ma sát, khi đó lực suy rộng Q_j được xác định như sau:

$$Q_j = \sum_{k=1}^4 F_k^T \frac{\partial R_k}{\partial q_j} \quad (7)$$

$$Q_j = \left[\sum_{k=1}^4 M_k^T \frac{\partial \theta_k}{\partial q_j} \right] \quad (8)$$

Trong đó, F_k và M_k lần lượt là các lực và momen tác dụng vào vật thứ k.

Sau khi xác định được tổng động năng T^{Σ} , các lực suy rộng Q_j và thay chúng vào phương trình Lagrange (1). Chúng ta thu được hệ phương trình gồm 5 phương trình vi phân bậc hai mô tả chuyển động của toàn cơ hệ (9):

$$EQS = \{eq_1, eq_2, eq_3, eq_4, eq_5\} \quad (9)$$

2.2. Phân tích các lực tác dụng lên hệ thống cơ khí

a) Trọng lực của vật rắn k (P_k)

Trọng lực tác dụng vào vật rắn thứ k đặt tại trọng tâm của vật k, vuông góc với mặt phẳng nằm ngang và hướng thẳng đứng xuống dưới:

$$P_k = m_k g \quad (10)$$

Trong đó, g là gia tốc trọng trường ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

b) Lực đàn hồi - cản nhớt của hệ thống treo (F_s)

Hệ thống Robot chiến đấu có 6 hệ thống treo phân bố đối xứng hai bên thân Robot và chúng được xác định theo công thức sau [11]:

$$F_s = k_s (l_s - l_{0s}) + c_s \dot{l}_s \quad (11)$$

Trong đó, k_s - độ cứng của lò xo hệ thống treo, l_{0s} - độ dài ban đầu của lò xo; l - độ dài của lò xo; c_s - hệ số cản nhớt của hệ thống treo.

c) Lực tác dụng của bánh xe

Hệ thống Robot có 6 bánh xe phân bố đối xứng hai bên thân Robot và được xác định theo công thức sau [11]:

$$F_t = k_{tg} (l_t - l_{0t}) + c_t \dot{l}_t \quad (12)$$

Trong đó, l_{0t} - độ dài ban đầu của lò xo thay thế lốp xe; l_t - độ dài của lò xo thay thế lốp xe; c_t - hệ số cản nhớt của

lớp xe; k_{tg} - độ cứng quy đổi thay thế của lớp xe và nền đàn hồi, nó được xác định theo công thức [12]:

$$k_{tg} = \frac{k_t k_{gs}}{\left(\frac{2}{k_t^3} + \frac{2}{k_{gs}^3} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (13)$$

Trong đó, k_t - độ cứng thay thế của lớp xe được xác định theo biểu thức sau:

$$k_t = \frac{\sqrt{32Eb}\sqrt{r_1}}{3h}$$

k_{gs} - độ cứng thay thế của nền đất được xác định theo công thức sau:

$$k_{gs} = \frac{E_0}{\omega B(1-v^2)}$$

Trong đó, E_0 - mô đun đàn hồi của nền đất, ω - hệ số hình dạng gai lớp bánh xe, B - chiều rộng của lốp, v - hệ số giãn nở của nền đất, E - mô đun đàn hồi của cao su bánh xe, h - chiều dày lớp cao su, b - chiều rộng lớp cao su, r_1 - bán kính bánh xe.

d) Lực của hệ thống giảm giạt

Hệ thống Robot chiến đấu có 2 cơ cấu giảm giạt giống nhau, chúng được bố trí đối xứng qua mặt phẳng bắn. Mỗi cơ cấu giảm giạt bao gồm 2 lò xo được lắp đồng trục và có tác dụng ngược chiều nhau. Chúng được xác định theo công thức sau:

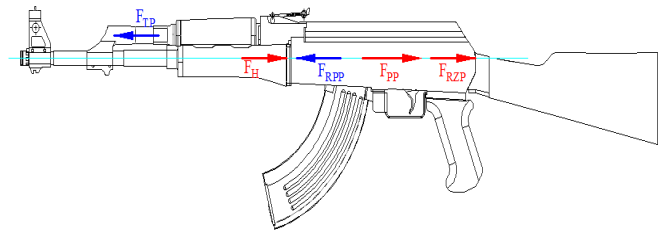
$$F_a = k_{af}(l_{0af} + q_5) + k_{ar}(-l_{0ar} + q_5) \quad (14)$$

Trong đó, k_{af} , k_{ar} , l_{0af} , l_{0ar} lần lượt là độ cứng của lò xo trước, lò xo sau, độ nén ban đầu của lò xo trước, độ nén ban đầu của lò xo sau ở trạng thái cân bằng.

e) Lực tác dụng của phát bắn lên thân Robot

Đối với vũ khí tự động được giữ trong bất kỳ loại giá đỡ nào, chúng ta cũng cần phải xác định được các lực tác động lên các bộ phận khác nhau của giá đỡ trong khi bắn [13]. Đây là cơ sở để khảo sát độ ổn định cũng như kiểm nghiệm điều kiện bền của hệ thống vũ khí. Các lực tác động vào vũ khí và gây ra chuyển động của hệ thống cơ khí phụ thuộc vào nguyên lý hoạt động của loại vũ khí tự động đó, xem [14, 15]. Trong nghiên cứu này, lực tác dụng của phát bắn lên Robot được xác định cho súng tiểu liên AKM, đây là loại vũ khí tự động hoạt động theo nguyên lý trích khí. Hình 7 biểu thị các lực chính tác động lên thân súng khi bắn. Trong đó, F_H - lực phát bắn phụ thuộc vào áp suất khí thuốc trong nòng súng; F_{TP} - lực tác dụng của khí thuốc lên thành trước của buồng khí; F_{PP} - lực của lò xo đẩy về; F_{RZP} - lực va chạm giữa

nòng với thành sau của hộp súng; F_{RPP} - lực va chạm giữa bệ khóa nòng với thành trước của hộp súng.

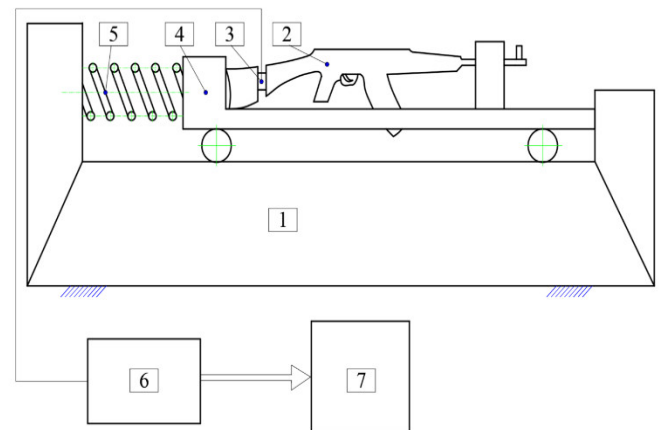


Hình 7. Các lực tác dụng lên thân súng khi bắn

Trên hình 7 cho thấy, các thành phần lực của phát bắn tác dụng lên giá trong một chu kỳ chức năng và có tính chất tuần hoàn, tổng các lực này truyền từ vũ khí lên thân Robot gây nên chuyển động cho toàn bộ hệ thống cơ khí.

$$F_{\Sigma} = F_H - F_{TP} + F_{NAR} + F_{PP} - F_{RPP} \quad (15)$$

Các lực này đã được định nghĩa và giải thích chi tiết trong các tài liệu [13, 15, 16]. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp thực nghiệm để xác định lực tác dụng của phát bắn lên Robot trong cả hai trường hợp: bắn đơn và bắn loạt ngắn. Sơ đồ bố trí để xác định lực tác dụng của phát bắn lên giá được thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Sơ đồ khối mô tả hệ thống đo lực phát bắn của súng tiểu liên AKM

1. Giá chuyên dụng cố định; 2. Súng tiểu liên AKM; 3. Cảm biến đo lực LB 15K; 4. Khung giá di động; 5. Lò xo giảm giạt; 6. Hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu; 7. Thiết bị hiển thị tín hiệu.

Kết cấu thiết bị thực nghiệm bao gồm súng tiểu liên AKM gắn trên giá chuyên dụng cố định có khối lùi liên kết đàn hồi với giá chuyên dụng cố định nhằm hạn chế sai số do thao tác của xạ thủ đồng thời mô tả chân thật nhất trong điều kiện bắn thông thường. Súng được bắn bằng bộ kéo cò gián tiếp, đảm bảo lực cò là nội lực, nhờ đó loại bỏ hoàn toàn những tác dụng không mong muốn của xạ thủ lên súng, đảm bảo điều kiện bắn giống nhau trong các lần thử nghiệm. Thông số kết cấu giá đỡ như sau: kích thước giá (dài, rộng, cao) là 900x250x760mm, khối lượng

94kg được cố định với nền; khối lượng khối lồi 20kg; độ cứng lò xo của khối lồi 1600N/m. Trong hình 8, đối tượng đo ở trạng thái chuẩn, cảm biến đo lực được đặt ở báng súng để xác định lực phát bắn dọc trục của súng. Tín hiệu đo được truyền đến hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu và xuất kết quả ra máy hiển thị dưới dạng đồ thị.

Hệ thống thiết bị thử nghiệm bao gồm: cảm biến đo lực LB 15K và hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu SIRIUSI-XHS-8xACC. Đây là các thiết bị đo lường của Trung tâm Kỹ thuật Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự đã được hiệu chuẩn và vẫn nằm trong hạn kiểm định của Cục Tiêu chuẩn - Đo lường - Chất lượng, Bộ Tổng tham mưu.

- Cảm biến đo lực LB 15K

Cảm biến đo lực LB 15K là một loại cảm biến đo lực hoạt động theo nguyên lý biến dạng đàn hồi. Chúng được thiết kế để đo lực với phạm vi đo phù hợp. Lực được cảm biến tiếp nhận và chuyển thành giá trị điện, tín hiệu điện này được truyền đến hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu. Các thông số cơ bản của cảm biến đo lực LB 15K được thể hiện trên bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của cảm biến đo lực LB 15K

	- Phạm vi đo: 0 ÷ 15000Lbs.
	- Dải tần số làm việc: 0 ÷ 1000Hz.
	- Nhiệt độ làm việc: -10 ÷ 100°C.
	- Độ chính xác: 0,2%.
	- Độ nhạy: 2mV/V.

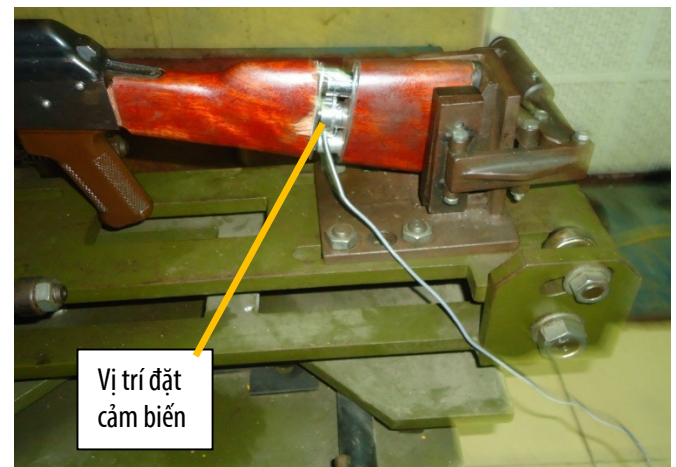
- Hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu SIRIUSI-XHS-8xACC

SIRIUSI-XHS-8xACC là hệ thống thu thập dữ liệu độc lập 8 kênh để đo cảm biến IEPE/ICP (hình 9). Đây là thiết bị DAQ hoàn hảo cho các ứng dụng ghi dữ liệu tức thời đòi hỏi khắt khe nhất. Thiết bị DAQ sử dụng công nghệ HybridADC mới cho phép hệ thống DAQ có hai chế độ hoạt động: Thu thập bằng thông cao ở tốc độ lấy mẫu 15MS/giây hoặc chế độ thu thập dải động cao với dải động lên đến 150dB ở tốc độ lấy mẫu thấp hơn. Các chế độ có thể lựa chọn bằng phần mềm tại mỗi kênh đầu vào. Đầu nối đầu vào trên bảng điều khiển phía trước SIRIUSI-XHS-8xACC là BNC. Đầu nối này có vòng đèn LED để kiểm tra cảm biến IEPE. Hệ thống SIRIUSI-XHS-8xACC có độ ổn định ở nhiệt độ cao và hầu như không có sự không khớp pha giữa các kênh. Dòng điện kích thích dao động từ 2mA đến 20mA với điện áp là 24V. Bộ lọc khuếch đại của hệ thống SIRIUSI-XHS-8xACC có hai bộ lọc băng thông cao phần cứng cho ghép nối AC: 1Hz và 0,1Hz; trong khi các bộ lọc khác có thể cấu hình bằng phần mềm.

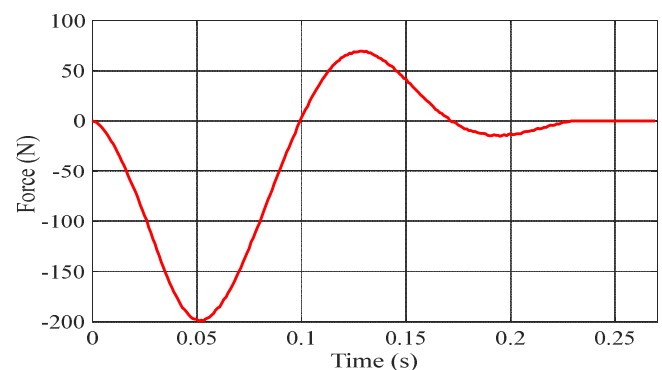


Hình 9. Hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu SIRIUSI-XHS-8xACC

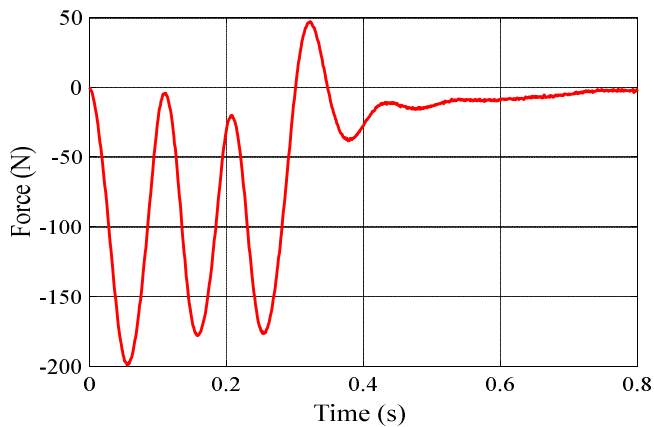
Cảm biến đo lực được gắn trên báng súng đảm bảo trực của cảm biến trùng với trục của nòng súng. Sau khi thực hiện các phép đo, tín hiệu từ cảm biến đo được truyền đến hệ thống thu thập và xử lý tín hiệu. Một số hình ảnh thử nghiệm được thể hiện trong hình 10.



Hình 10. Hình ảnh thực nghiệm đo lực phát bắn



Hình 11. Lực phát bắn tác dụng lên giá khi bắn 1 viên



Hình 12. Lực phát bắn tác dụng lên giá khi bắn loạt ngắn 3 viên

Sau khi đã được xử lý, kết quả lực phát bắn tác dụng lên giá của súng tiểu liên AKM được thể hiện trong hình 11 và 12.

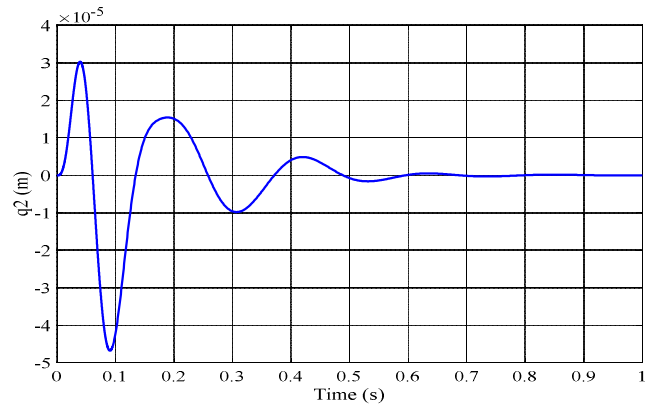
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để xác minh mô hình toán học đã được xây dựng, hệ thống Robot chiến đấu do Học viện Kỹ thuật Quân sự thiết kế chế tạo có gắn súng tiểu liên AKM đã được lựa chọn để tính toán mô phỏng động lực học. Các thông số đầu vào cho hệ thống cơ khí được xác định như sau: các thông số về kích thước, thông số về khối lượng được đo trực tiếp trên vật thật; các thông số về mô men quán tính, điểm đặt lực, tọa độ trọng tâm của các vật được xác định bằng phần mềm Solidword. Hệ phương trình vi phân mô tả dao động của cơ hệ được giải bằng phần mềm Maple. Kết quả mô phỏng cho hai trường hợp bắn một viên và bắn loạt ngắn ba viên ở góc tầm 0° , góc hướng 0° (hình 13 ÷ 20).

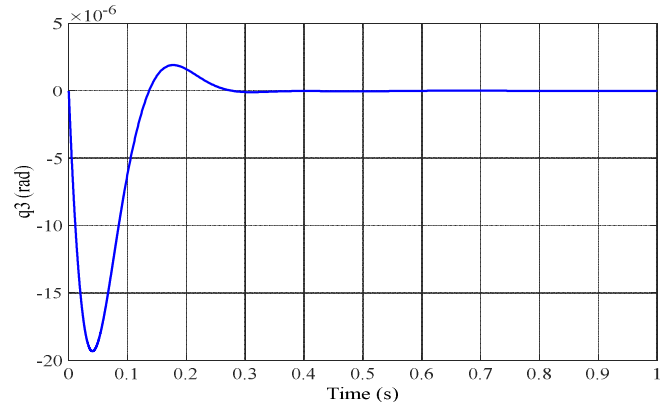
Từ kết quả khảo sát động lực học của hệ thống Robot - vũ khí khi bắn phát một và bắn liên thanh loạt ngắn 3 viên chúng ta nhận được tính chất và quy luật chuyển động của toàn cơ hệ. Hệ thống Robot có độ ổn định khá cao, điều này có được là do khối lượng và mô men quán tính của Robot khá lớn; các dao động đều tắt dần do cơ hệ có sử dụng các hệ cản nhớt ở các bánh xe và các hệ thống treo. Tuy nhiên, hạn chế trong nghiên cứu này là mới chỉ dừng lại ở phân tích động lực học của hệ thống Robot chiến đấu về mặt lý thuyết chưa có thực nghiệm kiểm chứng; quá trình khảo sát còn sử dụng nhiều giả thiết để đơn giản hóa trong thiết lập hệ phương trình toán học của cơ hệ nên độ tin cậy chưa cao. Sự thành công của mô phỏng động lực học phụ thuộc rất nhiều vào việc xác minh các thông số đầu vào. Nghiên cứu mới chỉ đạt thành công bước đầu trong việc đưa ra phương pháp nghiên cứu, tính toán khảo sát cơ hệ khi Robot đứng yên trên nền phẳng và các liên kết được coi là lý tưởng,...

Trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá sự phù hợp của mô hình toán học và hoàn thiện mô hình toán học theo hướng sát hơn với điều kiện bản thực tế như: nghiên cứu động lực học của hệ thống Robot thực hiện phát bắn khi đang di chuyển trên địa hình gồ ghề; khảo sát động lực học của Robot khi có tính đến biến dạng của các chi tiết trong các liên kết; cũng như giải các bài toán thiết kế tối ưu các hệ thống treo, hệ thống giảm giạt hay lựa chọn phương án bố trí các bộ phận của Robot sao cho tối ưu về mặt động lực học.

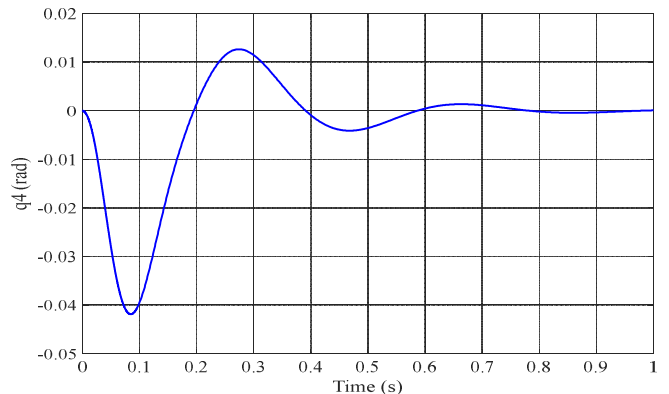
Các kết quả trong trường hợp bắn một viên đạn:



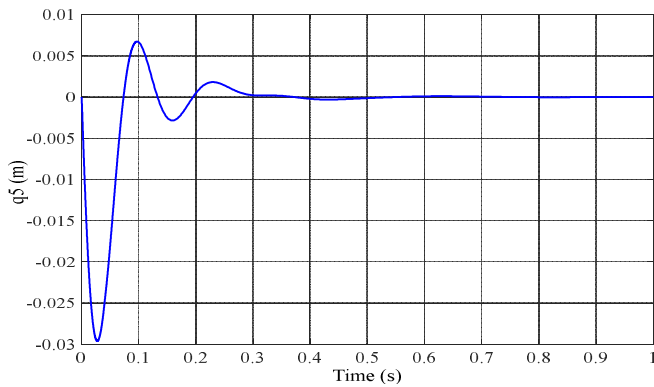
Hình 13. Dịch chuyển dọc của thân Robot theo trục Z_0



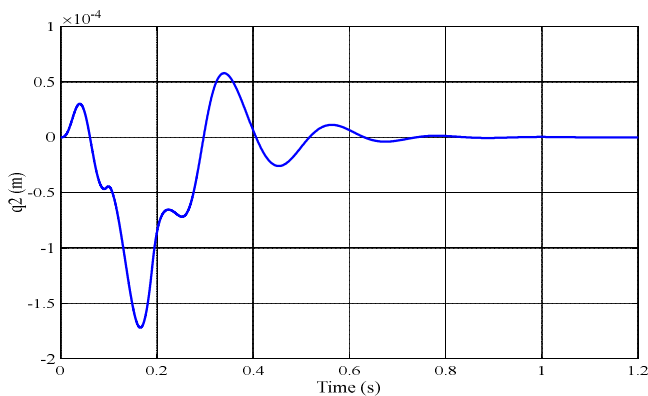
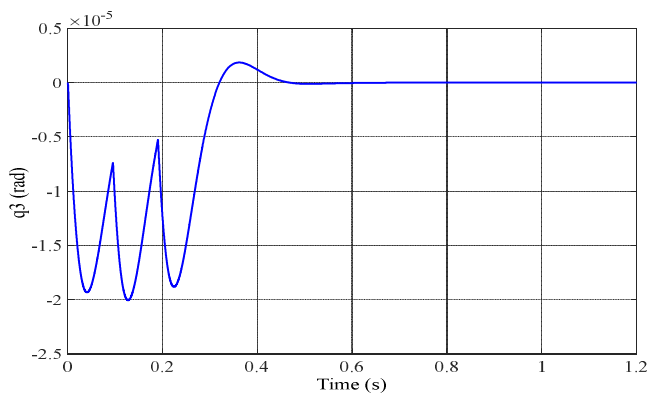
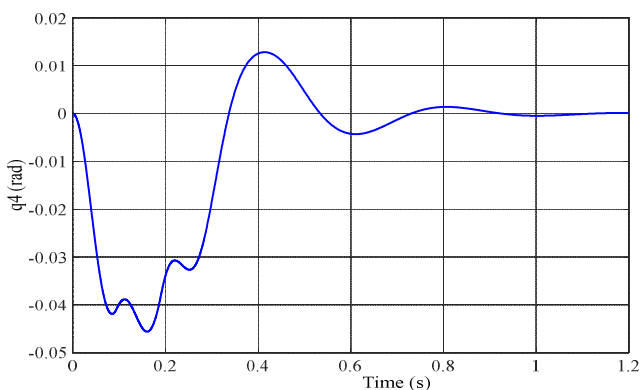
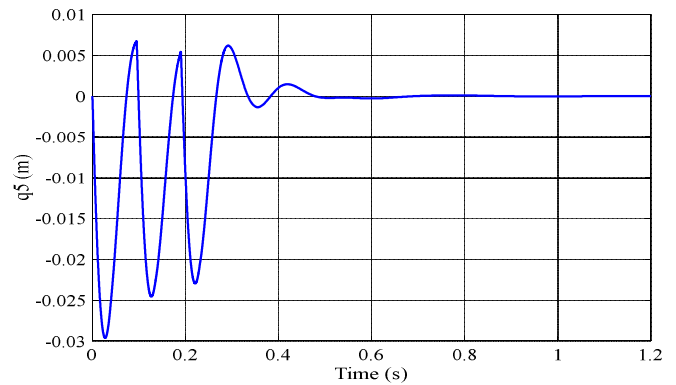
Hình 14. Dịch chuyển góc của thân Robot quanh trục X_0



Hình 15. Dịch chuyển góc của thân Robot quanh trục Y_0

Hình 16. Dịch chuyển dọc của thân súng theo trục X_3

Các kết quả trong trường hợp bắn loạt ngắn 3 viên:

Hình 17. Dịch chuyển dọc của thân Robot theo trục Z_0 Hình 18. Dịch chuyển góc của thân Robot quanh trục X_0 Hình 19. Dịch chuyển góc của thân Robot quanh trục Y_0 Hình 20. Dịch chuyển dọc của thân súng theo trục X_3

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này đã trình bày một phương pháp thiết lập mô hình động lực học của vũ khí tự động cỡ nhỏ gắn trên xe Robot chiến đấu khi bắn trong không gian. Mô hình toán học được thiết lập dựa trên định lý Lagrange loại hai và lý thuyết cơ học hệ nhiều vật. Mô hình toán học được xây dựng cho súng tiểu liên AKM gắn trên Robot chiến đấu do Học viện Kỹ thuật Quân sự thiết kế chế tạo với bốn vật rắn và năm hệ tọa độ suy rộng độc lập. Lực tác dụng của phát bắn lên súng được xác định bằng thực nghiệm cho kết quả có độ chính xác và tin cậy cao. Trong nghiên cứu này đã xây dựng được chương trình giải hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ thống Robot - vũ khí bằng phần mềm hiện đại, phần mềm này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho các nghiên cứu khác về động lực học vũ khí khi bắn trên phương tiện cơ động. Các kết quả mô phỏng động lực học đã được tiến hành và cho thấy được tính chất và quy luật chuyển động của toàn cơ hệ. Các kết quả thu được sẽ là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến độ ổn định của hệ thống vũ khí khi bắn trên Robot. Từ đó, làm cơ sở khoa học để tối ưu hóa cấu trúc tổng thể kết cấu của hệ thống Robot - vũ khí khi bắn. Các nghiên cứu trong tương lai sẽ tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm và đánh giá tính phù hợp của mô hình toán học cũng như nghiên cứu nhằm tối ưu hóa kết cấu của hệ thống Robot - vũ khí.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Chỉ huy và các thành viên của Trung tâm Kỹ thuật Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho việc thử nghiệm các nội dung của bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Balla J., "Dynamics of Mounted Automatic Cannon on Track Vehicle," *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 5, 3, 423-422, 2011.

[2]. Y.D. Shi, D.S. Wang, *Multi-body Modeling and Vibration Analysis for Gun*. The project is supported by Natural Science Foundation of China (Grant No. 50875259). 978-1-4244-4738-1/09/\$25.00 ©2009 IEEE, 2009.

[3]. C. M. Fischer, *Combat vehicle firing stability*. United State Army Ordnance Tank - Automotive Command, Detroit, Michigan, 1961.

[4]. J. Balla, "Combat vehicle vibrations during fire in burst," in *The Proceedings of the NAUN/IEEEAM Conferences Mathematical Models for Engineering Science (MMES '10)*, Puerto de la Cruz, Tenerife (Spain), 2010.

[5]. J. Balla, Z. Krist, F. Racek, P. Melša, V. Neumann, C. I. Le, "Analysis and Parameter Identification of Automatic Cannon Carriages," *Defence Science Journal*, 68, 6, 525-532, 2018. doi: 10.14429/dsj.68.12395.

[6]. Huai-Ku Sun, Yun-Tien Liu, Cun-Gin Chen, "Dynamic Analysis of a Vehicular-mounted Automatic Weapon—Planar Case," *Defence Science Journal*, 59, 3, 265-272, 2009.

[7]. Aparow V. R., Hudha K., Hamdan M., Abdullah S., "Study on Dynamic Performance of Armoured Vehicle in Lateral Direction due to Firing Impact," *Advances in Military Technology*, 2, 10, 5 - 20, 2015.

[8]. Jiri Balla, Zbynek Krist, Ich Le Cong, "Infantry Fighting Vehicle in Case of Burst Firing," in *International Conference on Military Technologies*, Brno: University of Defence, 3 - 8, 2015.

[9]. A. A. Shabana, *Dynamics of Multibody System*, Third Edition. University of Illinois at Chicago, Chicago, USA, 2005.

[10]. Phạm Huy Chương, *Động lực học vũ khí tự động*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 2002.

[11]. Phan Nguyên Di, *Cơ học hệ nhiều vật*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, 1996.

[12]. Wacław Borkowski, Jan Figurski, Jerzy Walentynowicz, "The impact of the cannon on the combat vehicle chassis during firing," *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 14, 1, 2007.

[13]. Fiser M., Popelinsky L., *Small Arms*. Textbook. Brno: University of Defence, 2007.

[14]. A. D. Tokarev, et al., *Theory and Calculation of Machine gun and AA Mounts*. PVAIU Penza, 1976.

[15]. D. F. Allsop, J. Balla, V. Cech, L. Popelinsky, S. Prochazka, J. Rosicky, *Brassey's Essential Guide to Military Small Arms*. London, Washington, 1997.

[16]. J. Balla, "Contribution to determining of load generated by shooting from automatic weapons," in *International conference on military technologies*, 6p, 2019.

AUTHOR INFORMATION

Vo Van Bien

Faculty of Special Equipment, Le Quy Don Technical University, Vietnam