

DỰ ĐOÁN CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG CHÍNH ĐẾN DỊCH CHUYỂN ĐIỂM TÌ VAI CỦA SÚNG ĐẠI LIÊN 7,62MM PKMS KHI BẮN BẰNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

PREDICTING THE MAIN INFLUENCING FACTORS ON THE SHOULDER POINT OF THE 7.62MM PKMS MACHINE GUN WHEN SHOOTING USING THE DESIGN OF EXPERIMENTS

Dương Văn Thạch¹,
Nguyễn Thị Cẩm Nhung², Nguyễn Thái Dũng^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.251>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc sử dụng phương pháp thử nghiệm sàng lọc Plackett-Burman trong quy hoạch thực nghiệm để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tì vai của đại liên 7,62mm PKMS khi bắn. Các yếu tố được khảo sát bao gồm: khối lượng giá súng, chiều dài chân giá trước, vị trí điểm tì vai, cơ sinh của xạ thủ bắn, độ cứng nền đặt bắn, độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau. Kết quả nghiên cứu của bài báo cho thấy có ba yếu tố ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tì vai khi bắn bao gồm cơ sinh của xạ thủ, chiều dài chân giá trước và độ cứng không đồng đều của nền. Các kết quả thực nghiệm trong nghiên cứu này là cơ sở quan trọng trong quá trình thiết kế, chế tạo, cải tiến vũ khí trang bị kỹ thuật tại Việt Nam.

Từ khóa: Đại liên 7,62mm PKMS; quy hoạch thực nghiệm; thực nghiệm sàng lọc; Plackett-Burman; điểm tì vai.

ABSTRACT

This work describes how the Plackett-Burman screening test method is used in the design of experiments to assess the primary influencing factors on the 7.62mm PKMS machine gun's shoulder point when shooting. The gun rack mass, front rack length, shooter biomechanics, shoulder rest position, and uneven stiffness of the gun foundation at two back racks are included in the factors examined. The article's findings indicate that the shooter's biomechanics, the front rack's length, and the uneven stiffness of the foundation are the three primary factors that influence the displacement of the shoulder point while shooting. The experimental results in this study are an important basis in the process of designing, manufacturing, and improving technical weapons and equipment in Vietnam.

Keywords: 7.62mm PKMS machine gun; design of experiments; screening experiment; Plackett-Burman; shoulder rest position.

¹Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: dungnguyenthai@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

1. MỞ ĐẦU

Lý thuyết quy hoạch thực nghiệm là một môn khoa học mà đối tượng nghiên cứu của nó là các thủ tục điển hình để tổ chức và tiến hành thực nghiệm khoa học nói chung và thực nghiệm có tính toán nói riêng [1-4]. Quy hoạch thực nghiệm được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau; tuy nhiên, việc áp dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong vũ khí nói riêng đa số là tài liệu mật và khó tiếp cận. Các tài liệu được công bố chủ yếu dạng thông tin, còn các tài liệu mang tính học thuật chuyên sâu rất hạn chế. Qua nghiên cứu, phân tích các tài liệu thu thập được về áp dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong vũ khí, có thể chia thành hai nhóm đối tượng nghiên cứu chính: Nhóm các công trình ứng dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong tối ưu hóa các thông số thiết bị đầu nòng [5-7] và công trình ứng dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong phân tích, tối ưu thiết kế thuật phóng trong [8].

Trong công trình nghiên cứu của M. Sherif Said và các cộng sự tại khoa Vũ khí - Đạn, trường Đại học kỹ thuật Quân sự Ai Cập, việc tối ưu hóa các thông số kết cấu của loa giảm giật súng bắn tỉa cỡ 12,7mm bắn đạn 12,7 x 99mm đã được nghiên cứu [5]. Theo đó, các hàm mục tiêu là hiệu suất của loa giảm giật đạt giá trị lớn nhất, lực tác dụng của loa giảm giật đạt giá trị lớn nhất và lực giật của súng là nhỏ nhất. Các thông số được tối ưu bao gồm diện tích cửa bên, góc nghiêng và số lượng của loa giảm giật. Nội dung nghiên cứu của Jiang Kun và Wang Hao thuộc trường đại học khoa học và công nghệ Nam Kinh - Trung Quốc tập trung tối ưu hóa các tham số kết cấu của loa giảm giật dạng đục lỗ, bao gồm góc nghiêng giữa trục nòng và trục lỗ, góc nghiêng giữa trục lỗ và thành lỗ, chiều dạng miệng cửa vào lỗ phun, bán kính cửa ra lỗ phun [6]. Giá trị của các thông số đầu vào được lấy từ mô phỏng bằng phương pháp số. Hàm mục tiêu trong nghiên cứu này chính là lực giảm giật tạo ra bởi loa giảm giật. Đối tượng nghiên cứu của công trình [7] này là loa giảm giật dạng khoang - vách ngăn của súng máy 12,7mm. Các

thông số đầu vào để tối ưu hóa là 4 thông số, bao gồm đường kính lỗ của vách ngăn, khoảng cách từ miệng nòng đến vách ngăn thứ nhất, khoảng cách từ miệng nòng đến vách ngăn thứ hai, góc nghiêng của cửa phụt khí. Bài toán tối ưu hóa trong công trình này là hai hàm mục tiêu, gồm có hiệu suất của loa giảm giạt và cường độ âm thanh do phát bắn tạo ra. Công trình ứng dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong phân tích, tối ưu thiết kế thuật phong trong được nghiên cứu bởi các tác giả người Nga [8]. Nhóm nghiên cứu của Bộ môn Vũ khí - Học viện Kỹ thuật Quân sự [9-14] tiến hành nghiên cứu, thử nghiệm vũ khí cầm tay dựa trên phân tích thực nghiệm.

Có thể thấy, các công trình đã công bố đã đề cập ở trên chủ yếu tập trung vào tối ưu hóa các thông số của loa giảm giạt và thiết kế thuật phóng. Còn các công bố về nghiên cứu ổn định của súng tự động khi bắn bằng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm gần như không có. Khi nghiên cứu vấn đề này, các công trình đã công bố chủ yếu tập trung áp dụng lý thuyết cơ học hệ nhiều vật, lý thuyết về thiết kế vũ khí để xây dựng nên các mô hình nghiên cứu ổn định của súng khi bắn, sau đó khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố đến ổn định của súng [15-17]. Điều này có phần hạn chế và khác biệt đối với điều kiện bắn thực tế. Đứng trước thực tế đó, bài báo tập trung nghiên cứu việc sử dụng phương pháp thử nghiệm sàng lọc Plackett-Burman trong quy hoạch thực nghiệm để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng chính đến tham số đặc trưng của súng đại liên 7,62mm PKMS khi bắn, đó là dịch chuyển điểm tì vai.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết kế thí nghiệm

Bản chất nghiên cứu của bài toán chính là thí nghiệm sàng lọc để loại bỏ đi những yếu tố ít ảnh hưởng và tìm ra các yếu tố ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tì vai (dịch chuyển của thân súng) khi bắn. Có nhiều phương pháp để thiết kế thí nghiệm sàng lọc, trong đó thiết kế Plackett-Burman là một loại thiết kế sàng lọc phổ biến. Thiết kế Plackett-Burman (PBD) được phát triển bởi R.L. Plackett và J.P. Burman vào năm 1946; đây là một phương pháp sàng lọc hiệu quả để xác định các yếu tố quan trọng trong số lượng lớn các yếu tố ảnh hưởng đến một quá trình [18-21]. Giả sử nếu chúng ta không sử dụng thiết kế Plackett-Burman, mà sử dụng thí nghiệm hai mức đầy đủ để thí nghiệm sàng lọc, khi đó với $k = 6$ yếu tố ảnh hưởng thì số lần phải thực nghiệm sàng lọc sẽ là $2^6 = 64$ lần thử nghiệm. Rõ ràng, đối với một lĩnh vực đặc thù như thử nghiệm Vũ khí thì việc tiến hành 64 lần thử nghiệm (chưa tính thử nghiệm lặp) sẽ rất khó thực hiện. Do đó, bài báo sử dụng thiết kế Plackett-Burman để tiến hành thiết kế thí nghiệm sàng lọc.

Về mặt mô hình toán học, mô hình đa thức bậc nhất sau đây đã được sử dụng trong thiết kế thí nghiệm sàng lọc [19, 20]:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \tag{1}$$

Trong đó, Y là phản ứng dự đoán (hàm mục tiêu - trong bài báo này là dịch chuyển điểm tì vai), β_0 là điểm chặn của

mô hình; β_i là hệ số tuyến tính và X_i là yếu tố ảnh hưởng. Các yếu tố ảnh hưởng được ký hiệu như sau: X_1 - khối lượng giá súng; X_2 - cơ sinh của xạ thủ bắn; X_3 - chiều dài chân giá trước; X_4 - độ cứng nền đặt bắn; X_5 - vị trí điểm tì vai; X_6 - độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau.

Xác định các yếu tố quan trọng đối với từng hàm mục tiêu ở mức độ tin cậy 95%. Trong bài báo này, thiết kế Plackett-Burman với 12 loạt bắn (mỗi loạt bắn liên thanh 03 phát) được sử dụng để đánh giá 06 yếu tố. Mỗi biến yếu tố được đánh giá ở hai mức độ: -1 cho mức độ thấp nhất và +1 cho mức độ cao nhất (bảng 2). Thiết kế thử nghiệm của Plackett-Burman (các hệ số và phạm vi thử nghiệm) được thể hiện trong bảng 1. Các hệ số có độ tin cậy trên 95% ($p < 0,05$) được coi là có tác động đáng kể đến các hàm mục tiêu và được xem xét để tối ưu hóa.

Bảng 1. Các mức độ và yếu tố thực nghiệm sàng lọc Plackett-Burman

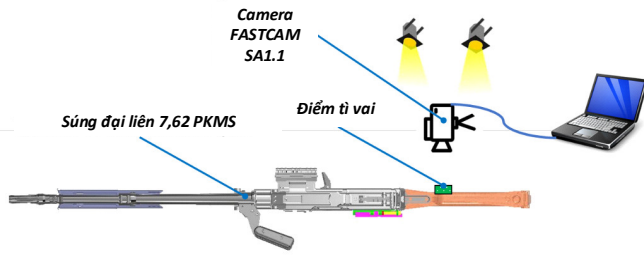
Yếu tố	Ký hiệu	Mức độ thí nghiệm	
		Thấp nhất (-1)	Cao nhất (+1)
Khối lượng giá súng (kg)	X_1	2,91	3,492
Cơ sinh của xạ thủ bắn	X_2	Gãy - Bé (XT1)	To (XT2)
Chiều dài chân giá trước (dm)	X_3	360	440
Yếu tố nền đặt bắn (KG/dm)	X_4	G1	G2
Vị trí điểm tì vai (dm)	X_5	-0,4	+0,4
Yếu tố không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau	X_6	S1	S2

Bảng 2. Thiết kế thực nghiệm sàng lọc Plackett-Burman

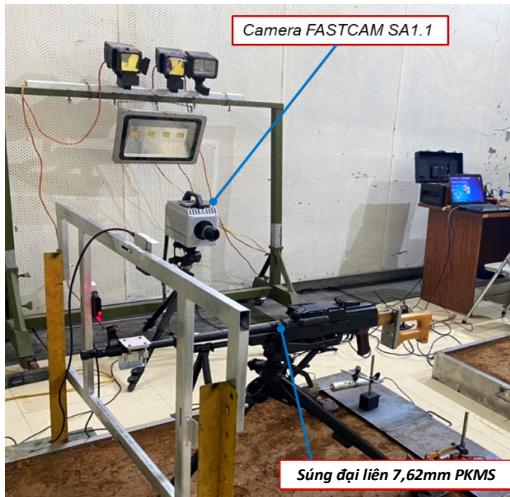
Thứ tự bắn	Khối lượng giá súng (X_1)	Xạ thủ (X_2)	Chiều dài chân giá trước (X_3)	Độ cứng nền (X_4)	Vị trí điểm tì vai (X_5)	Độ cứng không đều của nền (X_6)
1	1	XT1	1	-1	-1	-1
2	1	XT2	-1	1	-1	-1
3	-1	XT2	1	-1	1	-1
4	1	XT1	1	1	-1	1
5	1	XT2	-1	1	1	-1
6	1	XT2	1	-1	1	1
7	-1	XT2	1	1	-1	1
8	-1	XT1	1	1	1	-1
9	-1	XT1	-1	1	1	1
10	1	XT1	-1	-1	1	1
11	-1	XT2	-1	-1	-1	1
12	-1	XT1	-1	-1	-1	-1

2.2. Trang thiết bị và tổ chức thực nghiệm

Sau khi thiết kế thực nghiệm sàng lọc, tiến hành thử nghiệm. Mục đích của thực nghiệm là xác định tham số hàm mục tiêu: Dịch chuyển điểm tì vai (dịch chuyển của thân súng). Sơ đồ nguyên lý đo và bố trí thực nghiệm như trong hình 1. Hình ảnh thực nghiệm như hình 2.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý đo dịch chuyển điểm tì vai



Hình 2. Hình ảnh thực nghiệm

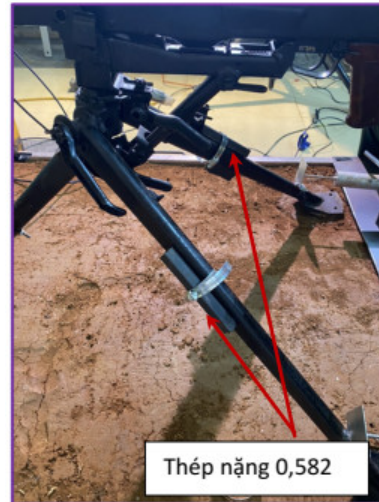
Thực nghiệm được tiến hành tại Trung tâm Kỹ thuật Vũ khí/Học viện Kỹ thuật Quân sự. Để đo dịch chuyển điểm tì vai, hệ thống camera thuật phóng FASCAN SA1.1 model 675K-C1 đã được sử dụng. Bộ thu dữ liệu được kết nối với máy tính đã được cài đặt phần mềm xử lý TEMA.

Để có thể thực hiện được các thử nghiệm như trong bảng 2 đã chỉ ra, việc chế tạo đồ gá và hoàn thiện điều kiện bắn rất quan trọng.

- Đối với điều kiện khối lượng giá súng (X_1): Hai giá trị nhỏ nhất - lớn nhất được khảo sát là 2,91kg (X_{1min}) và 3.492 kg (X_{1max}). Điều này được thực hiện bằng cách buộc thêm thép nặng 0,582kg vào hai chân của giá súng như hình 3.



Giá nguyên bản (2,91kg)



Giá tăng nặng (3,492kg)

Hình 3. Hình ảnh thay đổi khối lượng giá súng

- Đối với cơ sinh của xạ thủ bắn (X_2): Một xạ thủ to - cao (cao 1,85m, nặng 90kg) và một xạ thủ gầy - thấp (cao 1,63m, nặng 60kg) được lựa chọn để thực hiện phát bắn (hình 4).



Xạ thủ 2

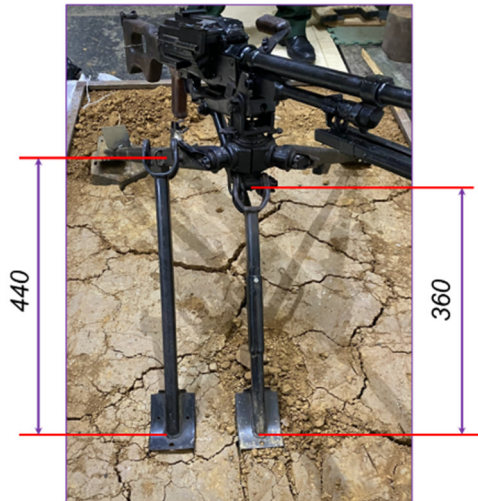
Xạ thủ 1

Hình 4. Hai xạ thủ bắn thử nghiệm

- Đối với điều kiện chiều dài chân giá trước (X_3): Giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của chiều dài chân giá khảo sát là 360mm và 440mm được thực hiện bằng khớp nối tăng - giảm chiều dài chân giá trước (hình 5).

- Đối với điều kiện độ cứng nền đặt bắn (X_4): Khảo sát trong hai trường hợp bắn khi đất được nén chặt (G1) và bắn khi đất xốp (G2).

- Về điều kiện vị trí điểm tì vai (X_5): Phạm vi thay đổi vị trí điểm tì vai từ -0,4dm (X_{3main}) đến +0,4dm (X_{3max}). Điều kiện này được thay đổi bằng việc tạo khớp nối có thể thay đổi vị trí điểm tì vai khi bắn (hình 6).



Hình 5. Chiều dài chân giá trước 360mm và 440mm



Nâng điểm tựa +0,4dm



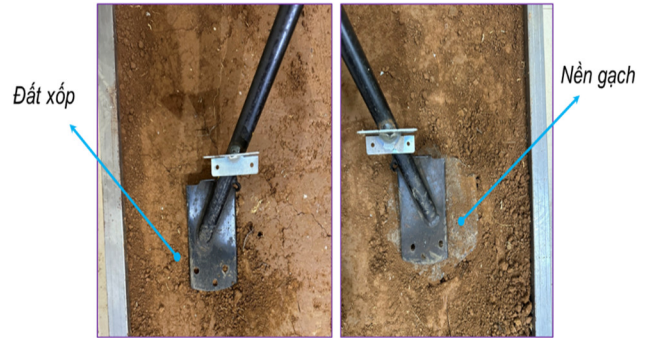
Hạ điểm tựa -0,4dm

Hình 6. Kết cấu súng khi nâng/hạ điểm tựa

- Về điều kiện độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau (X_6): Phạm vi khảo sát ảnh hưởng độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn được đánh giá qua hai trường hợp nhỏ nhất và lớn nhất. Để tạo được điều kiện này, tác giả đã tạo ra 02 điều kiện sát với thực tế chiến đấu của súng:

+ Trường hợp độ cứng không đồng đều là nhỏ nhất ứng với một chân đất được nền chặt, một chân đất được xới lên;

+ Trường hợp độ cứng không đồng đều là lớn nhất ứng với một chân đất được xới và một chân được đặt trên nền gạch (hình 7).



Hình 7. Độ cứng không đồng đều là lớn nhất

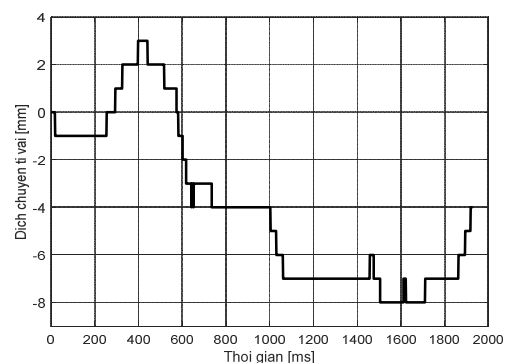
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thực nghiệm

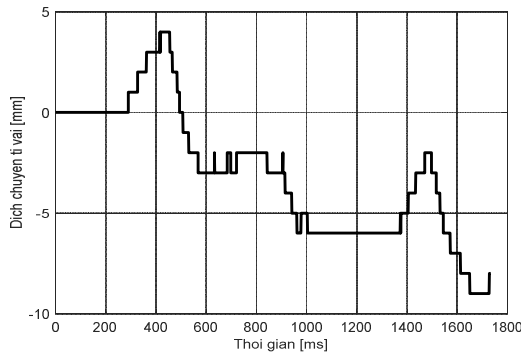
Sau khi chuẩn bị trang thiết bị thực nghiệm xong, tiến hành bắn thử nghiệm. Kết quả thử nghiệm qua 12 loạt bắn được trình bày như bảng 3. Một số đồ thị kết quả bắn được biểu diễn ở hình 8.

Bảng 3. Kết quả bắn thử nghiệm sàng lọc

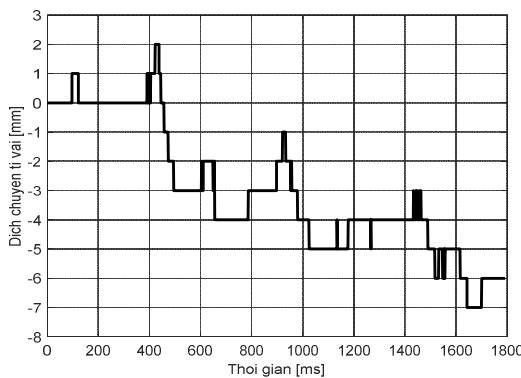
Thứ tự bắn	Khối lượng giá súng	Xạ thủ	Chiều dài chân giá trước	Độ cứng nền	Vị trí điểm tựa	Độ cứng không đồng đều của nền	Dịch chuyển tỉ lệ vai (mm)
1	1	XT1	1	-1	-1	-1	6
2	1	XT2	-1	1	-1	-1	8
3	-1	XT2	1	-1	1	-1	9
4	1	XT1	1	1	-1	1	9
5	1	XT2	-1	1	1	-1	7
6	1	XT2	1	-1	1	1	10
7	-1	XT2	1	1	-1	1	10
8	-1	XT1	1	1	1	-1	7
9	-1	XT1	-1	1	1	1	7
10	1	XT1	-1	-1	1	1	6
11	-1	XT2	-1	-1	-1	1	8
12	-1	XT1	-1	-1	-1	-1	6



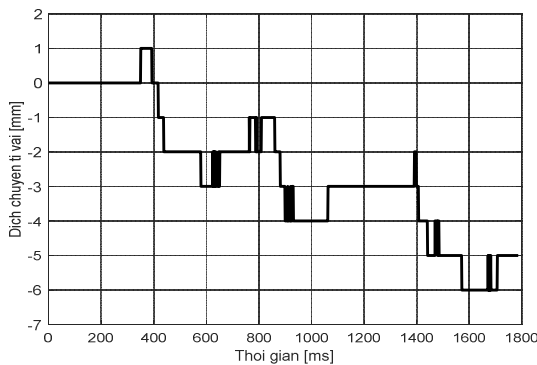
a) Loạt bắn số 2



b) Loạt bắn số 3



c) Loạt bắn số 8

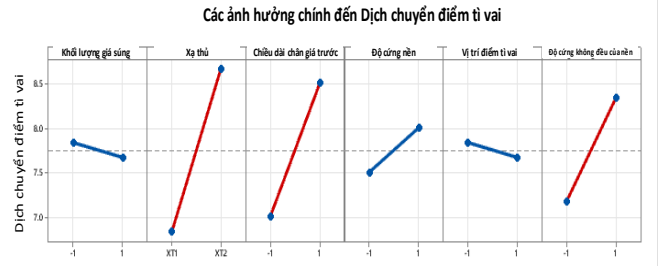


d) Loạt bắn số 10

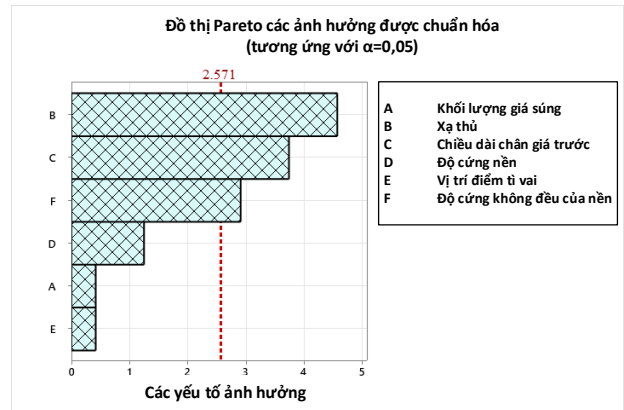
Hình 8. Đồ thị dịch chuyển điểm tỉ vai tại một số loạt bắn

3.2. Sàng lọc các yếu tố ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tỉ vai của súng đại liên 7,62mm PKMS khi bắn

Bằng phần mềm MINITAB ta thu được đồ thị các ảnh hưởng chính của 6 biến thử nghiệm đến dịch chuyển điểm tỉ vai như hình 9. Từ đồ thị hình 9 chúng ta thấy rằng, đối với yếu tố cơ sinh của xạ thủ: khi chiều dài chân giá trước thay đổi từ giá trị nhỏ nhất (mức -1) đến giá trị lớn nhất (mức +1) thì dịch chuyển điểm tỉ vai thay đổi từ 6,83mm đến 8,67mm. Tức là độ dốc của đồ thị này là $(8,67 - 6,83)/2 = 0,92$. Đồ thị này có độ dốc lớn nhất, điều đó có nghĩa cơ sinh của xạ thủ yếu tố có ảnh hưởng mạnh nhất đến dịch chuyển điểm tỉ vai. Bằng cách tương tự ta sẽ có thứ tự ảnh hưởng của các yếu tố đến dịch chuyển điểm tỉ vai theo thứ tự từ mạnh nhất đến ít nhất như sau: Xạ thủ, chiều dài chân giá trước, độ cứng không đồng đều của nền, độ cứng nền, vị trí điểm tỉ vai và khối lượng giá súng.



Hình 9. Đồ thị các ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tỉ vai



Hình 10. Đồ thị Pareto của 6 yếu tố ảnh hưởng

Cũng bằng phần mềm MINITAB ta thu được đồ thị Pareto của 6 yếu tố ảnh hưởng như hình 10. Đồ thị trên hình 10 đã chỉ ra, với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ thì đường giới hạn được vẽ bằng màu đỏ có hoành độ là 2,571. Từ đó chúng ta có được vùng loại bỏ giả thiết đảo. Cũng từ đồ thị này ta thấy có 3 yếu tố vượt quá bên phải đường giới hạn là: Xạ thủ, chiều dài chân giá trước, độ cứng không đồng đều của nền. Đây cũng chính là ba yếu tố có ảnh hưởng mạnh nhất đến hàm mục tiêu. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết luận rút ra từ việc phân tích đồ thị chuẩn hóa các ảnh hưởng ở trên.

Để khẳng định lại một lần nữa ba yếu tố ảnh hưởng chính đã đề cập ở trên, chúng ta tiến hành tìm mô hình hồi quy. Thông qua phần mềm, ta có phương trình hồi quy đối với hàm mục tiêu dịch chuyển điểm tỉ vai như sau:

$$Y_3 = 7,750 - 0,083X_1 + 0,917X_2 + 0,750X_3 + 0,250X_4 - 0,083X_5 + 0,583X_6 \tag{2}$$

Trong đó: Y_3 - dịch chuyển điểm tỉ vai [mm]; X_1 - khối lượng giá súng; X_2 - cơ sinh của xạ thủ bắn; X_3 - chiều dài chân giá trước; X_4 - độ cứng nền đặt bắn; X_5 - vị trí điểm tỉ vai; X_6 - độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau.

Các thông tin cho mô hình hồi quy được trình bày trong bảng 4. Quan sát cột giá trị xác suất p (p-value) chúng ta thấy rằng: Các yếu tố khối lượng giá súng, độ cứng nền đặt bắn và vị trí điểm tỉ vai có giá trị p khá lớn (lần lượt là 0,695; 0,268; 0,695) so với mức ý nghĩa α (bằng 0,05). Điều này nói lên ba yếu tố kể trên không có ảnh hưởng đến kết quả xây dựng mô hình. Ngược lại ba yếu tố xạ thủ, Chiều dài chân giá trước và độ cứng không đồng đều của nền có giá trị p nhỏ hơn nhiều so với mức ý nghĩa α (lần lượt là 0,006; 0,013; 0,034) nên nó có ảnh hưởng đáng kể.

Bảng 4. Thông tin mô hình hồi quy đối với hàm mục tiêu dịch chuyển điểm tì vai

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant		7,750	0,201	38,62	0,000
Khối lượng giá súng	-0,167	-0,083	0,201	-0,42	0,695
Xạ thủ	1,833	0,917	0,201	4,57	0,006
Chiều dài chân giá trước	1,500	0,750	0,201	3,74	0,013
Độ cứng nền	0,500	0,250	0,201	1,25	0,268
Vị trí điểm tì vai	-0,167	-0,083	0,201	-0,42	0,695
Độ cứng không đều của nền	1,167	0,583	0,201	2,91	0,034

Tóm tắt mô hình

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,695222	90,03%	78,08%	0,695222

Cũng qua bảng 4, ta thấy hệ số quyết định R-sq lớn hơn 90% (90,03%), chứng tỏ mô hình hồi quy tìm được khớp khá tốt đối với dữ liệu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã sử dụng phương pháp thử nghiệm sàng lọc Plackett-Burman trong lý thuyết quy hoạch thực nghiệm để sàng lọc các yếu tố ảnh hưởng chính trong sáu yếu tố đầu vào (khối lượng giá súng, chiều dài chân giá trước, vị trí điểm tì vai, cơ sinh của xạ thủ bắn, độ cứng nền đặt bắn, độ cứng không đồng đều của nền đặt bắn tại hai chân sau) đến dịch chuyển điểm tì vai của súng đại liên 7,62mm PKMS khi bắn. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, trong 6 yếu tố đầu vào thì có ba yếu tố ảnh hưởng chính đến dịch chuyển điểm tì vai lần lượt theo mức độ ảnh hưởng giảm dần là: Xạ thủ, chiều dài chân giá trước và độ cứng không đồng đều của nền. Tuy nhiên, độ ổn định của súng 7,62mm PKMS còn được đánh giá trong nhiều thông số khác như nẩy đứng và nẩy ngang của thân súng. Bên cạnh đó, bài báo mới chỉ dừng lại ở mức độ thí nghiệm sàng lọc chứ chưa nghiên cứu thực nghiệm tối ưu. Đây cũng là các vấn đề sẽ được các tác giả nghiên cứu trong thời gian tới.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Trung tâm Kỹ thuật Vũ khí - Học viện Kỹ thuật Quân sự đã có những hỗ trợ về mặt kỹ thuật cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh-Wold, C. Wikstro, S. Wold, 2001. *Design of Experiments, Principles and Applications*. J. Chemom., vol. 15, no. 5, pp. 495-496, [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cem.686>.

[2]. G.J. Park, 2007. *Analytic Methods for Design Practice - Chapter: Design of Experiments*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-473-1>.

[3]. N. R. Draper, F. Pukelsheim, 1996. *An overview of design of experiments*. Stat. Pap., vol. 37, pp. 1-32, doi: 10.1007/BF02926157.

[4]. D. R. Cox, N. Reid, 2000. *The theory of the design of experiments*. Theory Des. Exp., pp. 1-323, doi: 10.1198/tech.2001.s60.

[5]. M. Sherif Said, O. R. Abdelsalam, M. H. Aboul, 2018. *Design optimisation of muzzle brake for sniper rifle*. Def. Sci. J., vol. 68, no. 5, pp. 438-444, doi: 10.14429/dsj.68.12754.

[6]. J. Kun, W. Hao, 2011. *Design of experiment, approximate model and optimization of a muzzle brake*. Adv. Mater. Res., vol. 295-297, pp. 2563-2567, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.295-297.2563.

[7]. X. Zhao, Y. Lu, 2023. *Multi-objective optimization of a muzzle brake to enhance overall performance*. AIP Adv., vol. 13, no. 8, doi: 10.1063/5.0145731.

[8]. I. A. Zaporozhets, V. F. Zakharenkov, S. A. Meshkov, 2006. *Planning an experiment in problems of analyzing artillery systems*. Balt. State Tech. Univ. "Voenmech", Inst. Weapon Syst.

[9]. C. Phan Hoang, D. Nguyen Van, H. Pham Quoc, N. Nguyen Thi Cam, M. Phung Van, T. Le Minh, 2023. *Experimental and numerical studies on the effectiveness of high-strength steels protecting against API BZ projectiles*. Nondestruct. Test. Eval., doi: 10.1080/10589759.2023.2274005.

[10]. N. Van Hung, N. Van Dung, P. Van Minh, T. Van Ke, D. Van Thom, 2023. *Vibration Behavior Analysis of the Ammunition Belt of the Gas-Operated Machine Gun*. J. Vib. Eng. Technol., doi: 10.1007/s42417-023-00926-4.

[11]. T. D. Van, D. T. Cong, D. N. Thai, M. P. Van, 2022. *Investigation of the Influence of Structural Parameters on the Vibration of the PKMS Gun*. The 11th National Conference on Mechanics, hanoi, Vietnam.

[12]. H. Nguyen Van, D. Dao Van, A. M. Zenkour, P. Van Minh, D. Van Thom, 2022. *Movement of amphibious rifles fixed on the mount when shooting and operating underwater*. Waves in Random and Complex Media, doi: 10.1080/17455030.2022.2147244.

[13]. N. T. Hieu, L. M. Thai, N. T. Dung, D. Van Thom, P. Van Minh, 2023. *Effect of Hot-Pressing Mold Design on Uniformity of Dome-Shaped Products from Infrared Optical Ceramics*. Lect. Notes Mech. Eng., pp. 173-180, doi: 10.1007/978-3-031-31824-5_21.

[14]. T. D. Van, T. Le Minh, D. N. Thai, D. T. Cong, P. Van Minh, 2022. *The Application of the Design of the Experiment to Investigate the Stability of Special Equipment*. Math. Probl. Eng., vol. 2022, doi: 10.1155/2022/8562602.

[15]. V. N. Anh, 1995. *Dong luc hoc vu khi tu dong*. Military Technical Academy, Vietnam.

[16]. P. H. Chuong, 2002. *Dong luc hoc vu khi tu dong*. Military Technical Academy, Vietnam.

[17]. T. T. Hieu, 2008. *Khao sat anh huong cua mot so thong so co ban toi su on dinh cua dai lien khi ban*. Doctoral thesis, Military Technical Academy, Vietnam.

[18]. K. Vanaja, R. H. S. Rani, 2007. *Design of experiments: Concept and applications of plackett burman design*. Clin. Res. Regul. Aff., vol. 24, no. 1, pp. 1-23, doi: 10.1080/10601330701220520.

[19]. K. Chauhan, U. Trivedi, K. C. Patel, 2007. *Statistical screening of medium components by Plackett-Burman design for lactic acid production by Lactobacillus sp. KCP01 using date juice*. Bioresour. Technol., vol. 98, no. 1, pp. 98-103, doi: 10.1016/j.biortech.2005.11.017.

[20]. M. Hassan, T. Essam, A. S. Yassin, A. Salama, 2016. *Optimization of rhamnolipid production by biodegrading bacterial isolates using Plackett-Burman design*. Int. J. Biol. Macromol., vol. 82, pp. 573-579, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.09.057.

[21]. J. Tyssedal, O. Samset, 1997. *Analysis of the 12-run Plackett-Burman design*. Statistics (Ber.), vol. 8.

AUTHORS INFORMATION

Duong Van Thach¹, Nguyen Thi Cam Nhung², Nguyen Thai Dung¹

¹Faculty of Special Equipment, Military Technical Academy, Vietnam

²Faculty of Mechanical Engineering, Military Technical Academy, Vietnam