

TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ ĐẠN BẮN DƯỚI NƯỚC CHO SÚNG BẮN HAI MÔI TRƯỜNG

DESIGN OPTIMISATION OF UNDERWATER AMMO FOR AMPHIBIOUS RIFLE

Nguyễn Văn Hưng¹,
Đào Văn Đoàn¹, Nguyễn Văn Kiên^{2,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.013>

TÓM TẮT

Đạn bắn dưới nước là một loại đạn đặc chủng dùng để tác chiến dưới nước và đang được nhiều nước trên thế giới nghiên cứu trong những năm gần đây. Đạn ổn định theo nguyên lý "siêu khoang" khác với các loại đạn bộ binh thông thường. Do là loại đạn mới được nghiên cứu nên quá trình thiết kế, thử nghiệm phải khảo sát rất nhiều thông số khác nhau ảnh hưởng đến tính năng chiến - kỹ thuật của đạn. Vì vậy, một trong những vấn đề đặt ra là khối lượng thực nghiệm khi thiết kế loại đạn này rất lớn. Bài báo này sẽ trình bày việc sử dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm bằng phương pháp bề mặt đáp ứng (Response surface experiments) để tối ưu hóa thiết kế đạn bắn dưới nước dùng cho súng bắn hai môi trường cỡ 5,56mm với hai hàm mục tiêu đầu ra là áp suất lớn nhất, sơ tốc đầu đạn và ba tham số đầu vào là khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng và lực rút đầu đạn.

Từ khóa: Đạn bắn dưới nước, quy hoạch thực nghiệm, bề mặt đáp ứng, áp suất lớn nhất, sơ tốc đầu đạn.

ABSTRACT

Underwater ammunition is a special type of ammunition used for underwater firing, which has been research in many countries in recent years. The stable principle of this ammunition is "supercavity" different from conventional infantry ammunition. As it is a newly researched ammunition type, the design and testing process must examine many different parameters that affect the technical performance of ammunition. Therefore, one of the issues is that the experiment in the designing process of this ammunition is very difficult. This paper will present the application of Response surface experiments to optimize the design of underwater projectiles for 5.56mm amphibious rifles. The two output objective functions are the maximum pressure in bore and muzzle velocity of the projectile, and the three input parameters are projectile mass, propellant mass, and projectile pull-out force.

Keywords: Underwater ammunition, design of experiment, response surface experiment, maximum pressure, muzzle velocity

¹Khoa Trang bị đặc biệt, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Hệ sau đại học, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

*Email: nguyenvankientphcm@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/10/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/12/2024

Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đạn bắn dưới nước dùng cho súng bắn hai môi trường là loại đạn đặc biệt, đầu đạn ổn định theo nguyên lý "siêu khoang" khi đạn ra khỏi miệng nòng. Đạn có thể dùng chung hộp tiếp đạn tiêu chuẩn khi bắn trong không khí. Do đang trong giai đoạn nghiên cứu, thiết kế, chế thử nên số lượng các công bố khoa học chuyên sâu về loại đạn này chưa nhiều. Các công trình đã công bố chủ yếu nhằm xây dựng các mô hình toán học đối với bài toán thuật phóng trong và bài toán ổn định của đầu đạn khi chuyển động trong môi trường nước. Đối với bài toán thuật phóng trong, hiện tại vẫn có hai quan điểm tiếp cận chủ yếu đó là: dựa trên lý thuyết thuật phóng trong của súng pháo thông thường có tính đến ảnh hưởng chuyển động của cột nước trong lòng nòng [1-3] và cách tiếp cận dựa trên lý thuyết nhiệt động lực học [4]. Tuy nhiên nếu chỉ dựa vào mô hình bài toán này để thiết kế bộ thông số tối ưu cho đạn bắn dưới nước sẽ không phù hợp do không có định hướng, giá trị rõ ràng của các tham số. Bên cạnh đó, khi nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số khi thiết kế đến tính năng thuật phóng của đạn bắn dưới nước thì các tác giả chỉ cho thông số cần khảo sát thay đổi, còn các thông số khác cố định lại. Rõ ràng, điều này chưa phù hợp với thực tế phát bắn xảy ra cũng như yêu cầu khi thiết kế

đạn. Để giải quyết vấn đề này, lý thuyết quy hoạch thực nghiệm là lý thuyết được nhiều nhà khoa học lựa chọn. Lý thuyết này được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều nghiên cứu thuộc nhiều ngành khác nhau: từ hóa học, sinh học, môi trường, cơ khí, sản xuất, y học... Tuy nhiên, có rất ít các công trình nghiên cứu về vũ khí sử dụng lý thuyết này được công bố. Cũng có thể, các nghiên cứu về vũ khí nói chung và việc áp dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong vũ khí nói riêng đa số là tài liệu mật, 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. Các công trình áp dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trong vũ khí bao gồm: 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 bài toán ổn định của súng tự động khí bắn [8].

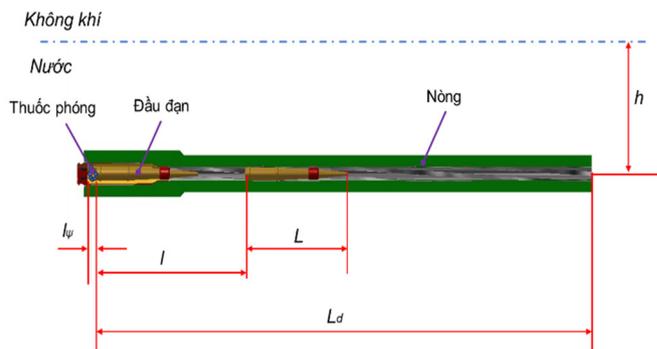
Trong bài báo này, các tác giả trình bày về việc ứng dụng phương pháp bề mặt đáp ứng trong lý thuyết quy hoạch thực nghiệm để tối ưu hóa bộ 03 thông số đầu vào khi thiết kế đạn bắn dưới nước (khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng, lực rút đầu đạn) theo 02 hàm mục tiêu tối ưu (áp suất lớn nhất trong lòng nòng, sơ tốc đầu đạn). Các giá trị của hàm mục tiêu tối ưu được lấy từ điều kiện kỹ thuật nghiệm thu đạn sau thiết kế, chế tạo

2. MÔ HÌNH THUẬT PHÓNG TRONG ĐẠN BẮN DƯỚI NƯỚC

So với súng pháo thông thường, hiện tượng bắn của hệ súng - đạn bắn dưới nước có những điểm khác biệt: Quá trình đầu đạn chuyển động, với sự có mặt của cột nước trong lòng nòng đầu đạn phải chịu lực cản rất lớn, bao gồm: áp lực thủy tĩnh, áp lực thủy động và lực cản ma sát giữa cột nước với thành lòng nòng. Đồng thời, quá trình biến đổi nhiệt thành công của hiện tượng bắn, ngoài công chủ yếu làm đạn chuyển động, khi bắn trong môi trường nước, năng lượng khí thuốc còn thực hiện công để đẩy cột nước ra khỏi nòng súng, công để thắng lực cản ma sát, áp lực thủy động và áp lực thủy tĩnh ở những độ sâu bắn khác nhau. Bên cạnh đó, do sự có mặt của lượng nước trong nòng và các thành phần lực cản nói trên nên quy luật thay đổi của áp suất khí thuốc và tốc độ đạn sẽ có những đặc điểm riêng.

Sơ đồ mô hình nguyên lý thuật phóng trong cho hệ súng - đạn bắn dưới nước như hình 1.

Trong sơ đồ này, l_ψ - Chiều dài quy đổi thể tích tự do của buồng đốt; l - Quãng đường chuyển động của đạn tại thời điểm xét; L - Chiều dài quy đổi của đầu đạn; L_d - Quãng đường chuyển động của đạn trong nòng; h - Độ sâu của phát bắn.



Hình 1. Mô hình nguyên lý thuật phóng trong hệ súng - đạn bắn dưới nước

Hệ phương trình vi phân thuật phóng trong được tạo thành bởi các phương trình sau [1, 2]:

- Các phương trình mô tả quy luật cháy và tạo khí của thuốc phóng:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{p}{l_k} \tag{1}$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\chi\sigma}{l_k} p \tag{2}$$

Trong đó:

$$\psi = \chi z(1 + \lambda z + \mu z^2); \sigma = 1 + 2\lambda z + 3\mu z^2$$

p, z, ψ, σ lần lượt là áp suất thuật phóng của khí thuốc, bề dày cháy tương đối, lượng thuốc phóng cháy tương đối và diện tích bề mặt cháy tương đối của phân tử thuốc phóng.

χ, λ, μ - Các đặc trưng hình dạng của phân tử thuốc phóng.

l_k - Xung lượng áp suất khí thuốc trong thời gian thuốc cháy.

- Các phương trình chuyển động của đầu đạn:

$$\frac{dl}{dt} = v \tag{4}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{Sp_{dd} + k_1 \frac{\rho v^2 S}{2} - k_1 S(p_{kk} + \rho gh)}{m + k_1 \rho S(L_d - L - l)} - \frac{k_1 \frac{\lambda^* \rho v^2 \pi d(L_d - L - l)}{2} + k_2 F_{blk}}{m + k_1 \rho S(L_d - L - l)} \tag{5}$$

Trong đó: k_1, k_2 là hệ số điều khiển tương ứng trong từng giai đoạn, giai đoạn chuyển động liên kết: $k_1 = 1, k_2 = 0$; giai đoạn chuyển động bán liên kết: $k_1 = 0, k_2 = 1$.

λ^* - hệ số lực cản ma sát giữa cột nước với thành nòng.

p_{dd}, p_{kk} lần lượt là áp suất khí thuốc tại đáy đạn và áp suất không khí tại bề mặt thoáng.

d, S, ρ lần lượt là đường kính trong của nòng, diện tích tiết diện của nòng và khối lượng riêng của nước.

- Phương trình cơ bản thuật phóng trong của hiện tượng bắn:

$$p = \frac{\theta}{S(l_{\psi} + l)} \left[\begin{aligned} & \frac{f\omega\psi}{\theta} - \frac{mv^2}{2} - k_1 \frac{\rho v^2 S(L_d - L - l)}{2} \\ & - k_1 \int_0^l \frac{\rho v^2 S}{2} dl - k_1 \int_0^l \frac{\lambda^* \rho v^2 \pi d(L_d - L - l)}{2} dl \\ & - \frac{\omega v^2}{6} - k_1 S l (\rho_{kk} + \rho gh) - k_2 F_{blk} \int_0^L dx \end{aligned} \right] \quad (6)$$

Hệ các phương trình trên chính là mô hình thuật phóng trong cho đạn bắn dưới nước. Hệ phương trình này đã được kiểm chứng sự phù hợp với thực tế qua các thử nghiệm được tiến hành trong [1-3]. Trong bài báo này, do điều kiện thí nghiệm đặc thù trong thiết kế đạn được, đặc biệt là đạn bắn trong môi trường nước nên không thể tiến hành thực nghiệm ở các phương án khác nhau. Chính vì vậy, bài báo sẽ sử dụng kết quả tính được của hệ các phương trình trên để làm thông số đầu vào của bài toán tối ưu trong quy hoạch thực nghiệm.

3. THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM TỐI ƯU

Thiết kế đạn bắn dưới phải kiểm soát ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố. Trong đó, có 03 yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến áp suất lớn nhất trong lòng nòng và sơ tốc đầu đạn đó là: khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng và lực rút đầu đạn. Trong bài toán tối ưu bằng quy hoạch thực nghiệm được nghiên cứu sẽ tối ưu với 03 yếu tố đầu vào và 02 hàm mục tiêu đầu ra. Việc lựa chọn khoảng giá trị biến động của 03 yếu tố đầu vào căn cứ vào các loại vật liệu chế tạo đầu đạn hiện có trong nước, khoảng không gian có thể nhồi thuốc phóng và kết quả thực nghiệm sơ bộ ban đầu. Khoảng giá trị và ký hiệu của các tham số trình bày như bảng 1.

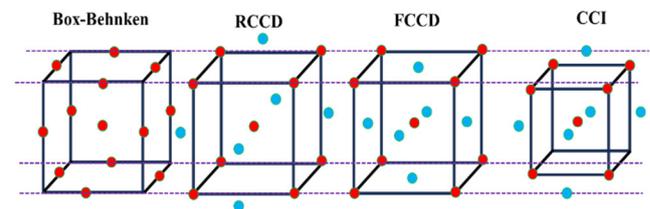
Bảng 1. Ký hiệu và khoảng giá trị các tham số đầu vào

Tên tham số	Ký hiệu	Đơn vị	Khoảng giá trị
Khối lượng đầu đạn	A	g	12,15 ÷ 14,85
Khối lượng thuốc phóng	B	g	0,5 ÷ 0,7
Lực rút đầu đạn	C	N	20 ÷ 30

Trong thực nghiệm tối ưu của lý thuyết quy hoạch thực nghiệm, phương pháp bề mặt đáp ứng (Response surface methodology - RSM) hay bề mặt chỉ tiêu vẫn là phương pháp hữu hiệu và được sử dụng rộng rãi. Phương pháp đáp ứng bề mặt lại bao gồm hai phương pháp chủ yếu thường sử dụng, đó là [9, 10]: Phương pháp Central Composite Design (CCD) hay phương pháp Box-Wilson và Phương

pháp Box-Behnken. Mỗi phương pháp sẽ có một ưu, nhược điểm riêng [11, 12] qua phân tích các mô hình này có thể thấy, đối với bài toán tối ưu thiết kế đạn bắn dưới nước thì sử dụng mô hình FCCD là phù hợp (hình 2). Quyết định lựa chọn này được phân tích dựa trên các cơ sở sau:

- Nếu lựa chọn mô hình Box-Behnken thì rõ ràng không phù hợp. Bởi vì phương pháp này được hai tác giả Box và Behnken đề xuất vào năm 1960 với mục đích thiết kế các thí nghiệm 3 mức nhằm xây dựng bề mặt đáp ứng. Nó được sử dụng với từ 3 đến 10 yếu tố. Mặc dù số lần bắn thực nghiệm giảm xuống; Tuy nhiên, các điểm thí nghiệm lại không nằm ở các góc, tức là không kiểm soát tại vị trí mà khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng và lực rút đầu đạn là nhỏ nhất/lớn nhất. Như vậy sẽ không sát với thực tế khi thiết kế đạn bắn dưới nước;



Hình 2. Phân bố thí nghiệm của các phương pháp đáp ứng bề mặt đối với ba yếu tố

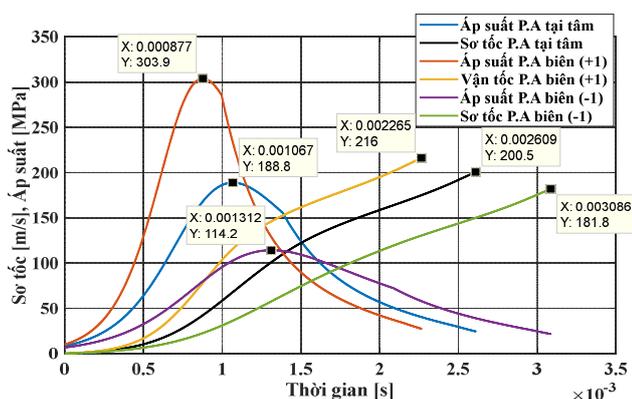
- Nếu lựa chọn mô hình RCCD thì vừa đảm bảo được thí nghiệm tại tâm, vừa đảm bảo được thí nghiệm ở góc, đồng thời có thể thử nghiệm ở vùng biên mở rộng. Tuy nhiên, đối với thông số khối lượng thuốc phóng, khối lượng đầu đạn thì khi chế tạo mẫu thực nghiệm sẽ khó đối với trường hợp này do nó vượt quá giới hạn thực tế của khối lượng đầu đạn và lượng thuốc phóng có thể nhồi vào vỏ đạn khi lắp đầu đạn;

- Tương tự như mô hình RCCD, thì nếu chọn mô hình CCI, chúng ta phải thiết kế khối lượng thuốc phóng nhỏ đi, sẽ không đủ để tạo sơ tốc đầu đạn cần thiết, nên không phù hợp trong thực tế thiết kế đạn bắn dưới nước;

- Còn đối với mô hình FCCD, vừa thực nghiệm được ở giá trị mức "0", mức -1 (nhỏ nhất), mức +1 (lớn nhất), đồng thời việc chế tạo các phương án thử nghiệm của 03 thông số đầu vào là khả thi, phù hợp với thực tế thiết kế đạn bắn dưới nước. Bên cạnh đó, bản chất của mô hình FCCD cũng chính là RCCD trong trường hợp khoảng cách xoay α = 1. Như vậy dựa vào mô hình FCCD ta xây dựng được bảng giá trị các yếu tố đầu vào như bảng 2 và trình tự tiến hành thực nghiệm như bảng 3. Sau khi có được trình tự tiến hành thực nghiệm, thay các thông số vào hệ phương trình đã xây dựng ở trên ta sẽ thu nhận được các kết quả vận tốc áp suất lớn nhất trong lòng nòng và sơ tốc đầu đạn (hình 3, bảng 3).

Bảng 2. Bảng giá trị các yếu tố đầu vào

Tên yếu tố	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị mã hóa			Giá trị thực tế		
			Lớn nhất	Trung bình	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Nhỏ nhất
Khối lượng đầu đạn	A	g	+1	0	-1	14,85	13,5	12,15
Khối lượng thuốc phóng	B	g	+1	0	-1	0,5	0,6	0,7
Lực rút đầu đạn	C	N	+1	0	-1	20	20,5	30



Hình 3. Kết quả giải bài toán thuật phóng trong đối với các phương án tại tâm, phương án biên giá trị thấp nhất (-1), phương án biên giá trị lớn nhất (+1)

Bảng 3. Trình tự tiến hành thực nghiệm và kết quả

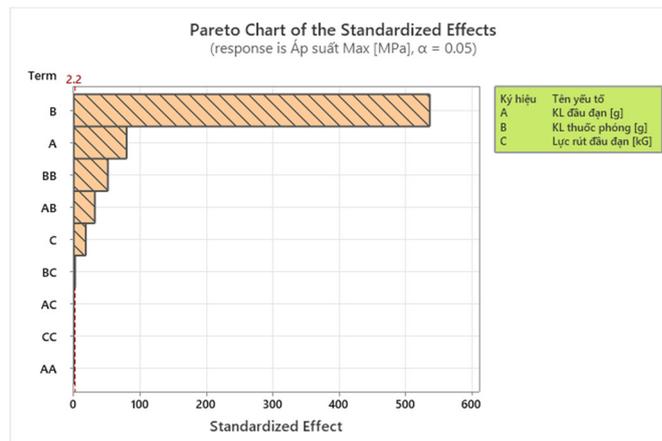
Phương án thử nghiệm	Khối lượng đầu đạn [g]	Khối lượng thuốc phóng [g]	Lực rút đầu đạn [kG]	Sơ tốc [m/s]	Áp suất Max [MPa]
1	13,5	0,6	25	200,5	188,8
2	12,15	0,5	30	183,1	118,8
3	13,5	0,6	25	200,5	188,8
4	13,5	0,7	25	224	283,3
5	13,5	0,5	25	175,8	123,4
6	13,5	0,6	30	200,9	191,4
7	12,15	0,7	30	233,7	268,9
8	14,85	0,6	25	193,3	199,7
9	13,5	0,6	20	200,1	186,1
10	14,85	0,5	30	170,3	132,5
11	13,5	0,6	25	200,5	188,8
12	12,15	0,5	20	181,8	114,1
13	14,85	0,7	30	216	303,8
14	14,85	0,7	20	215,5	297,5
15	12,15	0,6	25	208,6	177,8
16	13,5	0,6	25	200,5	188,8
17	12,15	0,7	20	233	262,8
18	13,5	0,6	25	200,5	188,8
19	13,5	0,6	25	200,5	188,8
20	14,85	0,5	20	169,3	127,8

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kế quả thu nhận được ở bảng 3, với sự trợ giúp của phần mềm MINITAB tiến hành phân tích tối ưu đối với các hàm mục tiêu là áp suất lớn nhất trong lòng nòng và sơ tốc đầu đạn.

4.1. Đối với hàm mục tiêu áp suất lớn nhất

Qua phần mềm MINITAB, với mức ý nghĩa $\alpha = 95\%$, thu được đồ thị Pareto của 03 yếu tố ảnh hưởng như hình 4 và các số liệu phân tích thống kê như bảng 4.



Hình 4. Đồ thị Pareto của 03 yếu tố ảnh hưởng đến áp suất lớn nhất

Qua đồ thị hình 4 có thể thấy, khối lượng thuốc phóng là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến hàm mục tiêu áp suất lớn nhất trong lòng nòng, sau đó đến khối lượng đầu đạn; còn lực rút vỏ đạn là yếu tố ít ảnh hưởng hơn so với hai yếu tố trên.

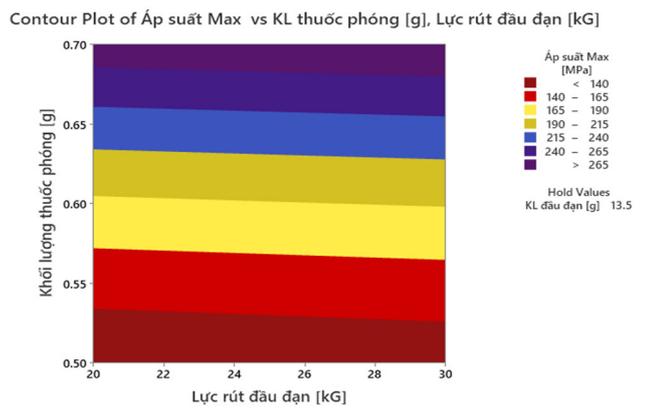
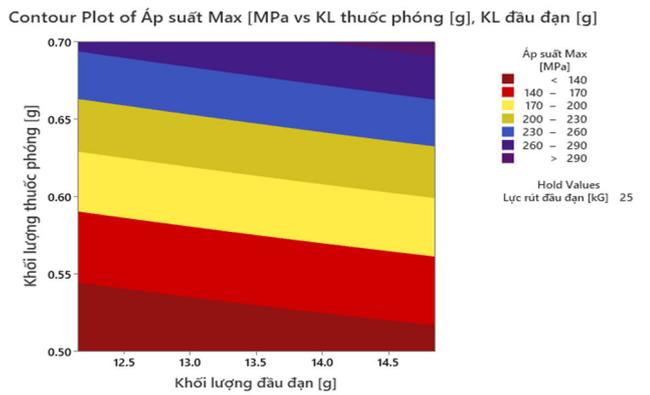
Bảng 4. Bảng phân tích thống kê với hàm mục tiêu áp suất lớn nhất

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	188,796	0,162	1164,46	0,000
A [g]	11,890	0,149	79,72	0,000
B [g]	79,970	0,149	536,21	0,000
C [kG]	2,710	0,149	18,17	0,000
A ²	-0,041	0,284	-0,14	0,888
B ²	14,559	0,284	51,19	0,000
C ²	-0,041	0,284	-0,14	0,888
A.B	5,275	0,167	31,64	0,000

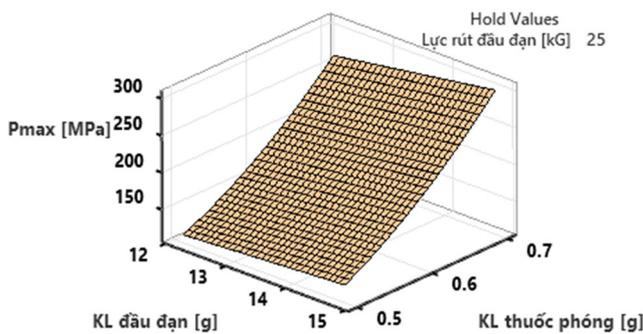
A.C	0,025	0,167	0,15	0,884
B.C	0,375	0,167	2,25	0,048

Cũng qua phân tích, xây dựng được phương trình hồi quy đối với hàm mục áp suất lớn nhất trong lòng nòng như sau:

$$P_{max} = 424,5 - 14,12.A - 1493,6.B + 0,124.C - 0,022.A^2 + 1455,9.B^2 - 0,0016.C^2 + 39,07.A.B + 0,0037.A.C + 0,75.B.C \quad (7)$$



Hình 5. Đồ thị đường mức của hàm mục tiêu áp suất lớn nhất



Hình 6. Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm mục tiêu áp suất lớn nhất

Các đồ thị đường mức và đồ thị bề mặt đáp ứng được biểu diễn như hình 5 và 6 cho thấy sự phụ thuộc của áp suất lớn nhất trong lòng nòng vào 03 yếu tố đầu vào khảo sát.

Một điểm cần chú ý rằng, trong điều kiện kỹ thuật nghiệm thu của đạn bắn dưới nước thì yêu cầu áp suất lớn nhất trong lòng nòng trung bình là 186,3MPa. Đây cũng sẽ là giá trị hàm mục tiêu cần tối ưu. Để đạt được giá trị 186,3MPa, phân tích tối ưu đã đưa ra bộ thông số tối ưu đối với khối lượng đầu đạn là 13,5g; khối lượng thuốc phóng là 0,6g và lực rút đầu đạn lớn nhất là 20,46kG (hình 7).

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Áp suất Max [MPa]	Target	114.1	186.3	303.8	1	1

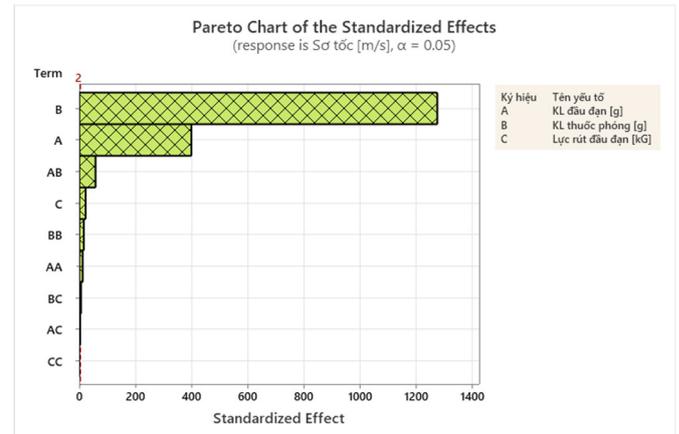
Solution

Solution	KL đầu đạn [g]	KL thuốc phóng [g]	Lực rút đầu đạn [kG]	Áp suất Max [MPa]	Composite Desirability
1	13.5	0.6	20.4565	186.300	1.00000

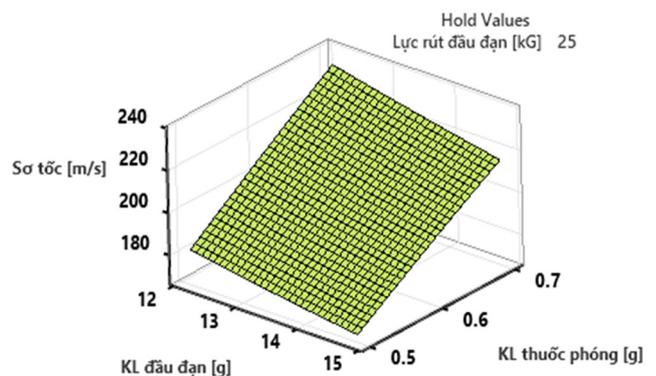
Hình 7. Bộ thông số tối ưu để đạt áp suất lớn nhất trong lòng nòng 186,3MPa

4.2. Đối với hàm mục tiêu sơ tốc đầu đạn

Bằng cách phân tích tương tự như đối với hàm áp suất lớn nhất trong lòng nòng, đồ thị pareto, đồ thị bề mặt đáp ứng như hình 8, 9.



Hình 8. Đồ thị Pareto của 03 yếu tố ảnh hưởng đến sơ tốc đầu đạn



Hình 9. Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm mục tiêu sơ tốc

Theo đó, khối lượng thuốc phóng vẫn là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến sơ tốc, sau đó mới là khối lượng đầu đạn. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng của khối lượng đầu đạn đến sơ tốc là rõ ràng hơn sơ với áp suất lớn nhất.

Phương trình hồi quy đối với hàm mục tiêu sơ tốc đầu đạn như sau:

$$V_0 = 70,18 - 6,483.A + 445,07.B + 0,3851.C + 0,2444.A^2 - 60,45.B^2 - 0,00018.C^2 - 9,167.A.B - 0,00926.A.C - 0,2750.B.C \quad (8)$$

Trong điều kiện kỹ thuật nghiệm thu đầu đạn bắn dưới nước, sơ tốc trung bình của đầu đạn là 200m/s. Với mục tiêu như vậy, bộ thông số tối ưu như sau: khối lượng đầu đạn là 13,5g; khối lượng thuốc phóng là 0,6g và lực rút đầu đạn là 20kG (hình 10).

Solution					
Solution	KL đầu đạn [g]	KL thuốc phóng [g]	Lực rút đầu đạn [kG]	Sơ tốc [m/s] Fit	Composite Desirability
1	13.5	0.599723	20	200.000	1.00000

Hình 10. Bộ thông số tối ưu để đạt sơ tốc 200m/s

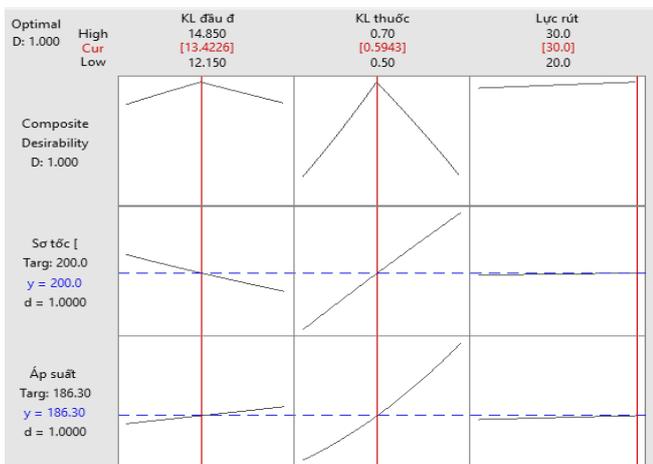
4.3. Tối ưu hóa hàm đa mục tiêu áp suất lớn nhất và sơ tốc

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Sơ tốc [m/s]	Target	169.3	200.0	233.7	1	1
Áp suất Max [MPa]	Target	114.1	186.3	303.8	1	1

Solution						
Solution	KL đầu đạn [g]	KL thuốc phóng [g]	Lực rút đầu đạn [kG]	Sơ tốc [m/s] Fit	Áp suất Max [MPa] Fit	Composite Desirability
1	13.4226	0.594342	30	200.000	186.300	1.00000

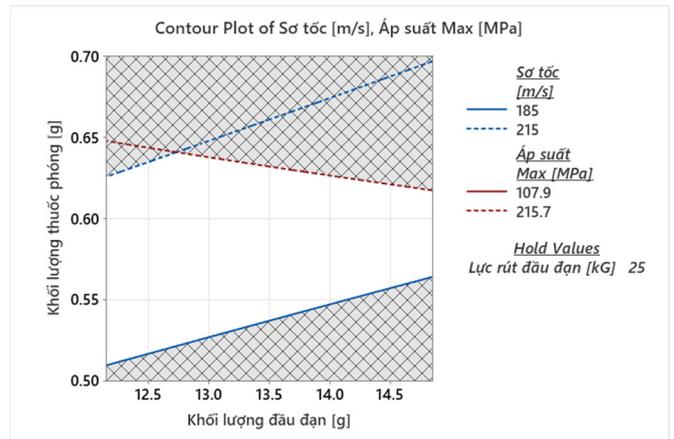
Hình 11. Bộ thông số tối ưu hàm mục tiêu kép sơ tốc và áp suất lớn nhất



Hình 12. Đồ thị tối ưu hóa hàm mục tiêu kép sơ tốc và áp suất lớn nhất

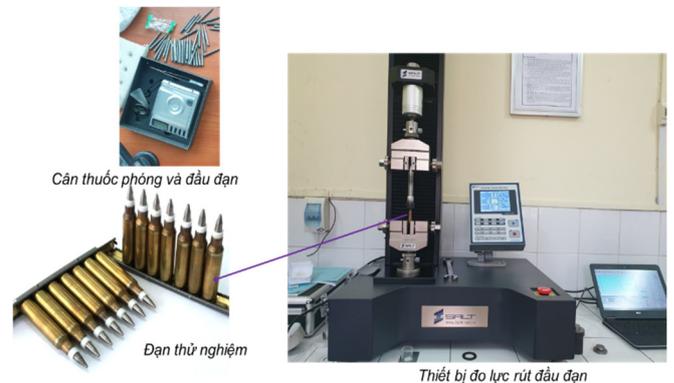
Để nghiệm thu được đạn bắn dưới nước, thì áp suất trung bình lớn nhất là 186,3MPa và sơ tốc trung bình là 200m/s. Trong đó, áp suất đơn phát lớn nhất là 215,7MPa, áp suất đơn phát nhỏ nhất là 107,9MPa; sơ tốc đầu đạn nhỏ nhất là 185m/s, sơ tốc đầu đạn lớn nhất là 215m/s. Để đạt được hàm mục tiêu kép (sơ tốc 200m/s, áp suất lớn nhất 186,3MPa), thì bộ thông số tối ưu của 03 tham số đầu vào như sau (hình 11, 12): khối lượng đầu đạn là 13,42g, khối lượng thuốc phóng là 0,594g và lực rút đầu đạn là 30kG.

Bên cạnh đó, để lựa chọn các giá trị của 03 tham số đầu vào để đạt được mục tiêu như trong điều kiện kỹ thuật nghiệm thu đạn sau chế tạo (áp suất từ 186,3MPa đến 215,7MPa; sơ tốc từ 185m/s đến 215m/s), đường đồ thị đường mức giao nhau của hai hàm mục tiêu áp suất lớn nhất và sơ tốc đã được xây dựng như hình 13. Dựa vào đây chúng ta có thể lựa chọn các giá trị của khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng, lực rút đầu đạn để đạt được hàm mục tiêu đề ra trong điều kiện kỹ thuật nghiệm thu đạn.



Hình 13. Đồ thị đường mức giao nhau của hàm mục tiêu sơ tốc và áp suất lớn nhất

4.4. Thực nghiệm theo phương án tối ưu

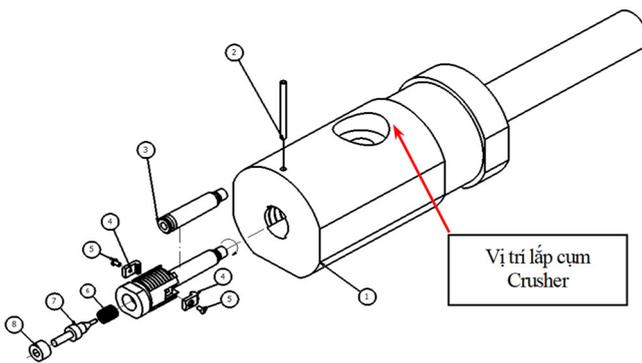
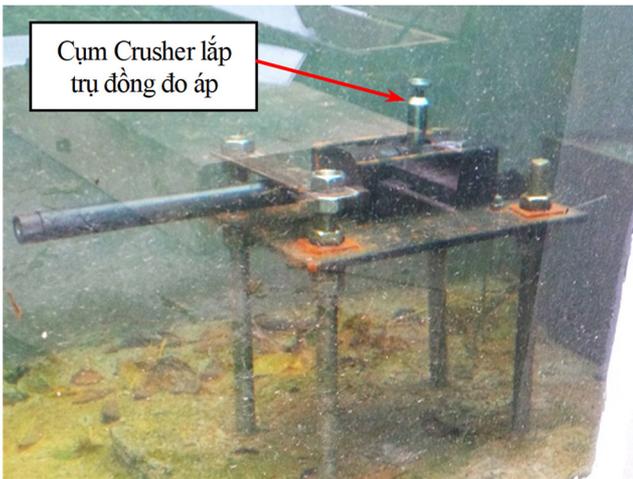


Hình 14. Chuẩn bị phương án thực nghiệm

Để đánh giá độ tin cậy của bộ thông số tối ưu, thực nghiệm đã được tiến hành đối với hàm mục tiêu kép. Theo đó, các giá trị thiết kế thí nghiệm như sau: khối

lượng đầu đạn là 13,42g, khối lượng thuốc phóng là 0,594g và lực rút đầu đạn là 30kG. Thuốc phóng và khối lượng đầu đạn được đo bằng cân, còn lực rút đầu đạn được xác định trên máy đo lực rút đầu đạn (hình 14).

Đạn được thử nghiệm trên nòng thử nghiệm có chiều dài 480mm. Áp suất lớn nhất trong lòng nòng được đo bằng Crusher và trụ đồng (hình 15). Để xác định sơ tốc đầu đạn, chúng tôi sử dụng camera thuật phóng FASTCAM SA1.1.



Hình 15. Đo áp suất trên cụm nòng súng thử nghiệm khi bắn dưới nước



Hình 16. Đo sơ tốc đầu đạn bằng Camera thuật phóng

Sau khi bắn 10 viên đạn, ta thu được giá trị trung bình của áp suất lớn nhất trong lòng nòng là 190,2MPa và giá trị trung bình của sơ tốc là 204m/s. Như vậy, sai lệch về áp

suất lớn nhất là 2,05% và về sơ tốc là 1,96%. Các sai lệch này cho thấy bộ thông số tối ưu là hoàn toàn phù hợp với kết quả thực nghiệm.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày nội dung ứng dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm để tối ưu thiết kế đạn bắn dưới nước cỡ 5,56x45mm dùng cho súng bắn hai môi trường cỡ 5,56mm. Trong đó, các thông số đầu vào để tối ưu gồm: khối lượng đầu đạn, khối lượng thuốc phóng, lực rút đầu đạn; và hàm mục tiêu tối ưu gồm: áp suất lớn nhất trong lòng nòng và sơ tốc đầu đạn. Đặc biệt bài báo đã xây dựng được hàm hồi quy bậc hai mô tả sự phụ thuộc của áp suất lớn nhất trong lòng nòng và sơ tốc đầu đạn với ba thông số đầu vào. Bên cạnh đó, nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng bộ thông số tối ưu cũng được tiến hành. Kết quả nghiên cứu của bài báo đã chỉ ra rằng, đối với phạm vi khảo sát của bài toán thì khối lượng thuốc phóng là ảnh hưởng lớn nhất đến sơ tốc, áp suất lớn nhất; sau đó mới đến khối lượng đầu đạn và lực rút đầu đạn. Để đạt được sơ tốc trung bình 200m/s và áp suất lớn nhất 186,3MPa (như trong điều kiện kỹ thuật nghiệm thu đạn sau thiết kế, chế tạo) thì khối lượng đầu đạn là 13,42g, khối lượng thuốc phóng là 0,594g và lực rút đầu đạn là 30kG.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Van Hung N., Van Doan D., "A mathematical model of interior ballistics for the amphibious rifle when firing underwater and its validation by measurement," *Vietnam Journal of Science and Technology*, 58(1), 92-106, 2020. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/1/13605>
- [2]. Konečný P., Van Dao D., Van Nguyen H., Le B. H. "Interior ballistic of amphibious rifle when firing under water," *Advances in Military Technology*, 15(1), 137-148, 2020. <https://doi.org/10.3849/aimt.01327>
- [3]. Nguyen Hai Minh, Dao Van Doan, Nguyen Huu Thang, "Interior ballistics modeling of the underwater gun during the connecting period of the bullet motion," *Journal of Science and Technique, Military Technical Academy*, 183 (30-38), 2017.
- [4]. Nguyen Van Hung, Dao Van Doan, Nguyen Van Dung, Do Duc Linh, "A thermodynamic approach for the study of interior ballistics of an amphibious rifle," *Journal of Science and Technology, Military Technical Academy*, 209 (47-61), 2020. <https://doi.org/10.56651/lqdtu.jst.v15.n04.103>
- [5]. Jiang K., Wang H., "Design of experiment, approximate model and optimization of a muzzle brake," *Advanced Materials Research*, 295, 2563-2567, 2011. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.295-297.2563>

[6]. Sherif M., Abdelsalam O. R., Aboul M., "Design optimisation of muzzle brake for sniper rifle," *Defence Science Journal*, 68(5), 438, 2018. DOI : 10.14429/dsj.68.12754

[7]. Zhao X., Lu Y., "Multi-objective optimization of a muzzle brake to enhance overall performance," *AIP Advances*, 13(8), 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0145731>

[8]. Van Thach D., Tam T. D., Dzung N. T., Van Hung N., "Screening main factors affecting the stability of 7.62 mm PKMS guns using Plackett-Burman design," *HauI Journal of Science and Technology*, 60, 5, 169-177, 2024. <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.177>

[9]. Nguyễn V. D., Nguyễn Đ. B., *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.

[10]. Eriksson L., Johansson E., Kettaneh-Wold N., Wikström C., Wold S., *Design of experiments. Principles and Applications*. Learn Ways AB, Stockholm, 2000.

[11]. Rakić T., Kasagić-Vujanović I., Jovanović M., Jančić-Stojanović B., Ivanović D., "Comparison of full factorial design, central composite design, and box-Behnken design in chromatographic method development for the determination of fluconazole and its impurities," *Analytical Letters*, 47(8), 1334-1347, 2014. <https://doi.org/10.1080/00032719.2013.867503>

[12]. Sibanda W., Pretorius P., "Comparative study of the application of central composite face-centred (CCF) and Box-Behnken designs (BBD) to study the effect of demographic characteristics on HIV risk in South Africa," *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 2, 137-146, 2013. doi 10.1007/s13721-013-0032-z

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Hung¹, Dao Van Doan¹, Nguyen Van Kien²

¹Faculty of Special Equipment, Le Quy Don Technical University, Vietnam

²Graduate student, Le Quy Don Technical University, Vietnam