

Tối ưu các tham số kết cấu phần chiến đấu đến khả năng xuyên của đầu nổ lõm

Nguyễn Đình Linh*, Lê Hải Thượng, Nguyễn Xuân Thành

Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Tác giả liên hệ: dinhlinhk20@gmail.com

Nhận bài: 04/9/2024; Hoàn thiện: 07/11/2024; Chấp nhận đăng: 15/11/2024; Xuất bản: 06/12/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2024.212-218>

TÓM TẮT

Việc nghiên cứu lựa chọn hợp lý các tham số kết cấu đầu nổ lõm để đạt khả năng xuyên lớn nhất luôn là một vấn đề cấp thiết và dành được nhiều quan tâm nghiên cứu. Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng phương pháp tính toán uy lực đạn lõm có tính đến vị trí kích nổ kết hợp với thuật toán tối ưu GSA và phương pháp mô phỏng Autodyn 2D để tối ưu kết cấu đầu nổ lõm cỡ 110 mm khi thay đổi các tham số: $1/2$ góc mở phễu lót α_0 biến thiên trong phạm vi $[25^\circ; 30^\circ]$; chiều cao phễu lót H biến thiên trong phạm vi $[87 \text{ mm}; 90 \text{ mm}]$; hoành độ tâm nổ phụ x_T biến thiên trong phạm vi $[21 \text{ mm}; 27 \text{ mm}]$; tung độ tâm nổ phụ y_T biến thiên trong phạm vi $[40 \text{ mm}; 47 \text{ mm}]$ bước đầu đã tìm ra được bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$ cho chiều sâu xuyên lớn nhất $b = 717,98 \text{ mm}$.

Từ khoá: GSA; Tối ưu hóa; Đầu đạn nổ lõm; Kết cấu phễu lót; Uy lực xuyên.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các tài liệu [1-3] đưa ra phương pháp tính toán chiều sâu xuyên của đầu nổ lõm; công trình [4] đã tối ưu kết cấu đầu nổ lõm bằng thuật toán tối ưu GSA kết hợp với phương pháp BITU, tuy nhiên trong các phương pháp này, coi mặt sóng nổ lan truyền trong khối thuốc nổ lõm là mặt sóng phẳng vuông góc với trục đối xứng của đạn như vậy không thể hiện được ảnh hưởng của tầm chắn sóng đến khả năng xuyên của đạn.

Hiện nay, bài toán tính toán khả năng xuyên lõm chưa được giải quyết thỏa đáng, chủ yếu vẫn là lần lượt cho từng tham số thay đổi đồng thời cố định tất cả các tham số khác. Cách làm như vậy tốn nhiều thời gian và khối lượng tính toán lớn, đặc biệt với những tham số cần xác định thông qua thực nghiệm thì số lần thử nghiệm rất lớn và tiến hành rất tốn kém cả về thời gian và chi phí. Trong những năm gần đây, nhiều phương pháp tối ưu hóa khác nhau đã được phát triển, trong đó có thuật toán tìm kiếm lực hấp dẫn GSA (Gravitational Search Algorithm) [5, 6]. Phương pháp này khá phù hợp để giải các bài toán tối ưu phức tạp mà các phương pháp tối ưu truyền thống gặp nhiều khó khăn vì số chiều của không gian bài toán lớn hoặc vùng xác định không liên tục, hàm mục tiêu không liên tục, có nhiều điểm cực trị địa phương, tốc độ hội tụ nhanh. Bài toán tối ưu hóa kết cấu đầu nổ lõm để nâng cao khả năng xuyên lõm chính là một bài toán như vậy.

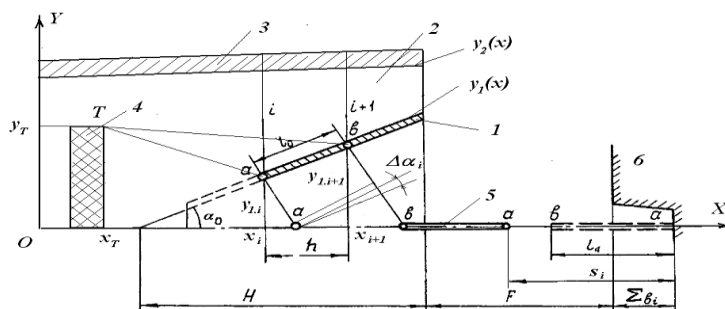
Từ những đặc điểm trên, nhóm tác giả đã nghiên cứu áp dụng thuật toán tối ưu GSA kết hợp với phương pháp tính toán uy lực đạn lõm có tính đến vị trí kích nổ thông qua vị trí của tâm nổ phụ, bổ sung giả thuyết đánh giá ảnh hưởng của tầm chắn sóng đến chiều sâu xuyên đạn lõm và phương pháp mô phỏng Autodyn 2D để tối ưu hóa kết cấu đầu nổ lõm của tên lửa chống tăng cỡ 110 mm, cụ thể là xác định chiều cao, góc mở phễu lót và vị trí tầm chắn sóng, nhằm nâng cao khả năng xuyên lõm.

2. MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH CHIỀU SÂU XUYÊN CỦA ĐẦU NỔ LÕM CỠ 110 mm CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA TẦM CHẮN SÓNG

2.1. Mô hình tính toán chiều sâu xuyên của đầu nổ lõm có tính đến ảnh hưởng của tầm chắn sóng

2.1.1. Mô hình tính toán

Sơ đồ tính toán thể hiện trên (hình 1) đặt trong hệ tọa độ XOY với X là trục đối xứng của đạn, $y_1(x)$, $y_2(x)$ là đường cong biên dạng mặt ngoài phễu lót và mặt trong của thành thân đạn, T là tâm nổ thứ cấp có tọa độ (x_T, y_T) .



Hình 1. Sơ đồ tính toán chiều sâu xuyên đạn lõm:

1 - Phễu lõt; 2 - Thuốc nổ; 3 - Thân vỏ đầu đạn;

4 - Tấm chắn sóng; 5 - Phân tố dòng xuyên; 6 - Chướng ngại.

Một số thông số kết cấu của đạn: Mật độ vật liệu thân đạn ρ_V ; Mật độ thuốc nổ ρ_T ; Mật độ phễu lõt ρ_p ; Bề dày thân vỏ đầu đạn $\delta_V(x)$; Bề dày phễu lõt $\delta_p(x)$; Góc mở phễu lõt α_0 ; Chiều cao phễu lõt H ; Khoảng cách từ miệng phễu lõt đến bề mặt chướng ngại F .

2.1.2. Xây dựng phương trình

Tại từng mặt cắt $i = \overline{1, n+1}$, lần lượt tính toán các giá trị:

- Phần tích cực của vi phân khối lượng liều thuốc nổ;
- Vận tốc nén ép vi phân khối lượng phễu lõt;
- Góc khép phễu của từng phân tố phễu dọc theo trục đạn;
- Vận tốc và khối lượng của phân tố dòng tập trung và chuỗi dòng;
- Chiều dài hiệu quả của phân tố dòng tập trung.
- Đường kính lỗ xuyên do phân tố dòng tạo ra [7]:

$$D_{0,i} = \sqrt{\frac{4E_i}{\pi A_w b_i}} \quad (1)$$

Trong đó: E_i - Động năng của phân tố dòng, $E_i = m_{d,i} v_{d,i}^2 / 2$;

A_w - Năng lượng riêng phá hủy vật liệu chướng ngại (tra bảng);

- Chiều sâu xuyên của đạn được xác định theo biểu thức:

$$b = \sum_{i=1}^n b_i \quad (2)$$

2.2. Áp dụng thuật toán GSA giải quyết bài toán tối ưu kết cấu đầu nổ lõm cỡ 110 mm

2.2.1. Các bước áp dụng thuật toán GSA để giải bài toán tối ưu

Mục tiêu chính của việc tối ưu hóa kết cấu đầu nổ lõm để nâng cao uy lực phần chiến là xác định các tham số hình học của phễu lõt và vị trí tâm nổ phụ để chiều sâu xuyên vào bản thép đạt giá trị lớn nhất (bài toán tìm cực đại). Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo chỉ tiến hành khảo sát đồng thời đối với bốn giá trị: 1/2 góc mở phễu lõt α_0 ; chiều cao phễu lõt H ; hoành độ tâm nổ phụ x_T ; tung độ tâm nổ phụ y_T . Có thể thấy rằng với mỗi bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$ thì có 1 giá trị chiều sâu xuyên b , khi thay đổi đồng thời bộ tham số số $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$ thì số lượng phép tính tăng lên rất nhiều, khi số lượng biến tăng lên, số chiều của không gian tìm kiếm tăng lên thì số lượng phép tính tăng theo quy luật hàm mũ. Để giải quyết vấn đề đó, nhóm tác giả tiến hành tiến hành

xây dựng chương trình bằng phần mềm MATLAB và giải bài toán tối ưu kết cấu phễu lót trên nền tảng lý thuyết thuật toán GSA như sau:

- Giả thuyết rằng hệ thống có N phần tử, mỗi phần tử có vị trí là:

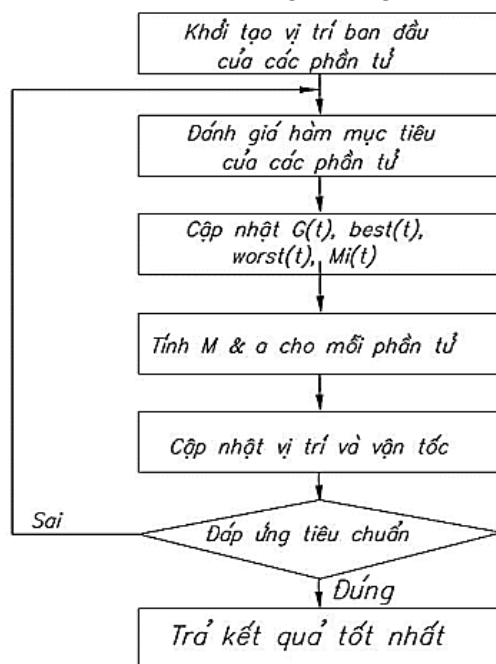
$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n), \text{ với } i = 1, 2, \dots, N.$$

Trong đó: $x_i^1, x_i^2, x_i^3, x_i^4$ lần lượt biểu diễn giá trị 1/2 góc mở phễu lót α_0 ; Chiều cao phễu lót H ; hoành độ tâm nổ phụ x_T ; Tung độ tâm nổ phụ y_T của phần tử thứ i . Số chiều của không gian tìm kiếm trong phạm vi nghiên cứu ở đây là 4, số lần lặp tối đa bằng T (Maximum number of iterations).

- Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ nhất tương ứng với 1/2 góc mở phễu lót α_0 biến thiên trong phạm vi $[25^\circ; 30^\circ]$ (độ); Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ hai tương ứng với chiều cao phễu lót H biến thiên trong phạm vi $[87; 90]$ (mm); Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ ba tương ứng với hoành độ tâm nổ phụ x_T biến thiên trong phạm vi $[21; 27]$ (mm); Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ tư tương ứng với tung độ tâm nổ phụ y_T biến thiên trong phạm vi $[40; 47]$ (mm).

- Lập trình chương trình MATLAB trên cơ sở thuật toán GSA để tính toán giá trị chiều sâu xuyên b theo phương pháp tính toán uy lực đạn lõm có tính đến vị trí kích nổ.

- Tổng hợp, phân tích và đánh giá kết quả nhận được; từ đó xác định phương án tối ưu tương ứng với bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$ nào đó nằm trong khoảng biến thiên đã giới hạn.



Hình 2. Các bước trong thuật toán GSA.

2.2.2. Áp dụng thuật toán GSA tối ưu một số tham số kết cấu đầu nổ lõm cỡ 110 mm

Xét một kết cấu cụ thể của phần chiến đấu dựa trên mô hình của đạn cỡ 110 mm với các thông số như sau: Thân đạn hình trụ bằng nhôm, $\rho_{th} = 2,7 \text{ g/cm}^3$, bán kính ngoài thân đạn $R_n = 55 \text{ mm}$, bán kính trong thân đạn $R_t = 52,75 \text{ mm}$. Thuộc nổ OCTOL với $\rho_{TN} = 1,82 \text{ g/cm}^3$, tốc độ nổ $D = 8480 \text{ m/s}$. Phễu lót hình nón bằng đồng, $\rho_{ph} = 8,93 \text{ g/cm}^3$. Khoảng cách từ miệng phễu đến bản thép $F = 280 \text{ mm}$. Vận tốc dòng xuyên tới hạn $v_{th} = 2200 \text{ m/s}$.

Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ nhất tương ứng với 1/2 góc mở phễu lót α_0 biến thiên trong phạm vi $[25^\circ; 30^\circ]$. Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ hai tương ứng với

chiều cao phễu lót H biến thiên trong phạm vi [87 mm; 90 mm]. Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ ba tương ứng với tọa độ tâm nổ phụ x_T biến thiên trong phạm vi [21 mm; 27 mm]. Giới hạn không gian tìm kiếm của chiều thứ tư tương ứng với tọa độ tâm nổ phụ y_T biến thiên trong phạm vi [40 mm; 47 mm]. bằng công cụ lập trình MATLAB, với bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T] = [26,02; 89,99; 26,4; 45,9]$ ta thu được kết quả chiều sâu xuyên $b=717,98$ mm được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả chiều sâu xuyên.

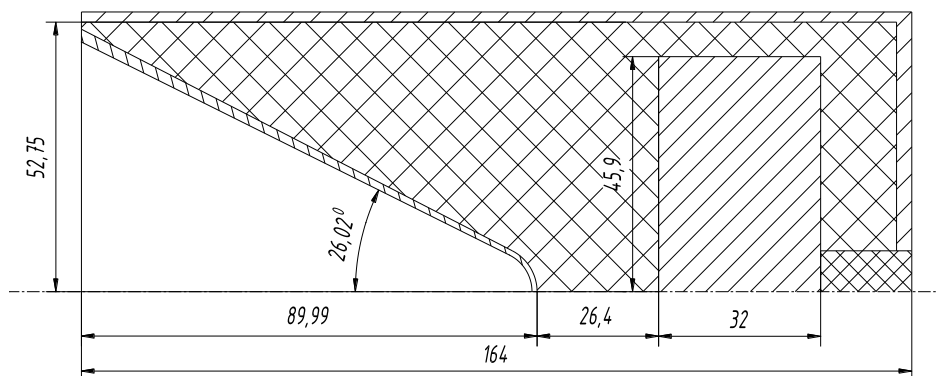
| STT | Chiều sâu xuyên b (mm) | Góc mở phễu lót α_0 (độ) | Chiều cao phễu lót H (mm) | x_T (mm) | y_T (mm) | Hội tụ ở vòng lặp |
|-----|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------|------------|-------------------|
| 1 | 717,98 | 26,02 | 89,99 | 26,4 | 45,9 | 2 |
| 2 | 717,85 | 26,00 | 89,92 | 25 | 45,6 | 4 |
| 3 | 717,72 | 26,03 | 89,97 | 25,9 | 45,7 | 7 |
| 4 | 717,71 | 26,02 | 89,93 | 26,3 | 45,7 | 10 |
| 5 | 717,61 | 26,02 | 89,93 | 25,1 | 45,2 | 9 |
| 6 | 717,60 | 26,03 | 89,94 | 26,4 | 45,6 | 8 |
| 7 | 717,39 | 26,05 | 89,98 | 25,3 | 45,7 | 7 |
| 8 | 717,03 | 26,08 | 89,99 | 26,8 | 45,8 | 5 |
| 9 | 716,76 | 26,10 | 89,98 | 26,1 | 45,3 | 20 |
| 10 | 716,66 | 26,08 | 89,90 | 25,6 | 45,6 | 4 |

3. MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH XUYÊN LỖM CỦA ĐÀU NỔ LỖM CỖ 110 mm BẰNG PHẦN MỀM ANSYS AUTODYN 2D

3.1. Số liệu đầu vào

Mô hình mô phỏng

Căn cứ vào kết quả ở bảng 1 lựa chọn bộ tham số kết cấu đầu nổ $[\alpha_0; H; x_T; y_T] = [26,02; 89,99; 26,4; 45,9]$ để mô phỏng (hình 3). Theo các tài liệu nghiên cứu, có thể chia bài toán mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép thành 2 bài toán mô phỏng là mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên và mô phỏng quá trình va xuyên của dòng xuyên vào bản thép. Các tham số dòng xuyên được phân tích trong bài toán mô phỏng quá trình hình thành dòng xuyên là các thông số đầu vào cho bài toán mô phỏng quá trình va xuyên của dòng xuyên vào bản thép. Quá trình lan truyền sóng bên trong chất nổ và quá trình hình thành dòng xuyên được mô tả trong lưới Euler, quá trình va xuyên vào mục tiêu sử dụng lưới Lagrang. Nhóm tác giả đã chia lưới cả dòng xuyên và mục tiêu với các phương án kích thước lưới lần lượt là $0,025 \times 0,025$ cm; $0,05 \times 0,05$ cm; $0,1 \times 0,1$ cm. Tuy nhiên, để làm giảm tổng số phần tử, giảm thời gian tính toán của máy tính và đảm bảo tính hội tụ lựa chọn cả dòng xuyên và mục tiêu đều được chia lưới với kích thước lưới là $0,05 \times 0,05$ cm.



Hình 3. Mô hình đầu nổ lõm.

Vật liệu sử dụng mô phỏng và thông số phương trình trạng thái cho trong các bảng dưới đây:

Bảng 2. Vật liệu sử dụng mô phỏng và các phương trình tương ứng [3, 8, 10, 11, 12].

| STT | Thành phần | Vật liệu | Phương trình trạng thái | Mô hình bền | Mô hình phá hủy |
|-----|---------------|-----------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Trạm nổ | PEN1.77 | JWL | ----- | ----- |
| 2 | Thuốc nổ | A-IX-I | JWL | ----- | ----- |
| 3 | Phễu lót | CU-OFHC | Shock | SteinbergGuinan | ----- |
| 4 | Thân vỏ | AL7039 | Shock | Johnson-Cook | ----- |
| 5 | Tấm chắn sóng | PLEXIGLAS | Shock | ----- | ----- |
| 6 | Mục tiêu | ARMOX440T | Line | Johnson-Cook | Johnson-Cook |

Bảng 3. Các thông số trong phương trình trạng thái JWL của các loại thuốc nổ [9].

| Thuốc nổ PETN 1.77 | | | | | | |
|-------------------------|---------|---------|-------|-------|----------|---------|
| $\rho_0(\text{g/cm}^3)$ | A(Mbar) | B(Mbar) | R_1 | R_2 | ω | D (m/s) |
| 1,77 | 6,17 | 0,169 | 4,4 | 1,2 | 0,25 | 8300 |
| Thuốc nổ OCTOL | | | | | | |
| 1,821 | 7,49 | 0,134 | 4,5 | 1,2 | 0,38 | 8480 |

Bảng 4. Các thông số phương trình trạng thái Shock của CU-OFCH [9].

| ρ_0 (g/cm ³) | Γ | C_1 (cm. μs^{-1}) | S_1 | C_2 (cm. μs^{-1}) | S_2 | $\frac{VB}{v_0}$ | $\frac{VB}{v_0}$ |
|----------------------------------|----------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------|------------------|
| 8,96 | 2,02 | 0,394 | 1,489 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Bảng 5. Các thông số mô hình tăng bền Steinberg-Guinan của CU-OFCH [9].

| G (Mbar) | σ_c^0 (Mbar) | $\sigma_c^{d \max}$ (Mbar) | β | N | G_T | G_T (Mbar/K) | $(\sigma_c^d)_p$ | T_{nc} (K) |
|-------------|------------------------|-------------------------------|---------|------|-------|-------------------|------------------|-----------------|
| 0,477 | 0,0012 | 0,0064 | 36 | 0,45 | 1,35 | -1,789e-4 | 0,003396 | 1790 |

Bảng 6. Các thông số phương trình trạng thái Shock của AL 7039 [9].

| ρ_0 (g/cm ³) | Γ | C_1 (cm. μs^{-1}) | S_1 | C_2 (cm. μs^{-1}) | S_2 | $\frac{VB}{v_0}$ | $\frac{VB}{v_0}$ |
|----------------------------------|----------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------|------------------|
| 2,77 | 2 | 0,533 | 1,338 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Bảng 7. Các thông số phương trình trạng thái Shock của Plexiglass[3].

| ρ_0 (g/cm ³) | Γ | C_1 (cm. μs^{-1}) | S_1 | C_2 (cm. μs^{-1}) | S_2 | $\frac{VB}{v_0}$ | $\frac{VB}{v_0}$ |
|----------------------------------|----------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------|------------------|
| 1,186 | 0,97 | 0,2598 | 1,516 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Bảng 8. Các thông số mô hình bền Johnson-Cook của mục tiêu [12].

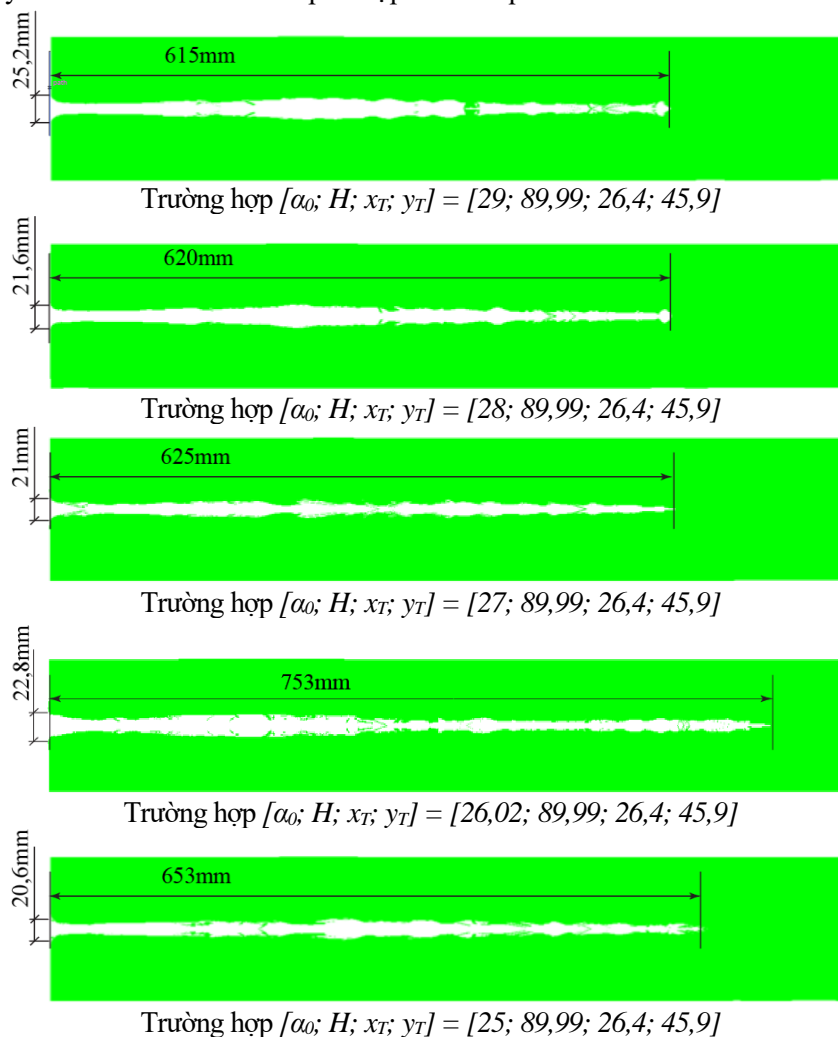
| ρ_0 (g.cm ⁻³) | A (MPa) | B (Mpa) | C | n | m | T_{room} (K) | T_{nc} (K) |
|-----------------------------------|------------|------------|-------|------|-----|-------------------|-----------------|
| 7,896 | 1,11e3 | 2e3 | 0,002 | 0,85 | 1,4 | 300 | 1793 |

Bảng 9. Các thông số của mô hình phá hủy Johnson-Cook [12].

| D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | D_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,051 | 0,82 | -0,46 | -0,04 | 0 |

3.2. Kết quả mô phỏng

Từ kết quả trong (hình 4) cho thấy với bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T] = [26,02; 89,99; 26,4; 45,9]$ cho chiều sâu xuyên lớn nhất $b = 753 \text{ mm}$ phù hợp với kết quả tối ưu GSA.



Hình 4. Kết quả mô phỏng Autodyn 2D với một số bộ tham số $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên cơ sở lý thuyết về nguyên lý của thuật toán GSA, kết hợp với phương pháp tính toán uy lực đạn lõm có tính đến vị trí kích nổ và phương pháp mô phỏng Autodyn 2D thiết lập được mô hình toán học mô tả quá trình lan truyền sóng nổ, quá trình hình thành dòng xuyên và va xuyên của dòng xuyên vào bản thép của đầu nổ lõm có sử dụng tấm chắn sóng, sử dụng công cụ lập trình MATLAB bước đầu tìm ra bộ các tham số tối ưu của kết cấu (góc mở phễu lốt $\alpha_0 = 26,02^\circ$, chiều cao phễu lốt $H = 89,99 \text{ mm}$, hoành độ tấm chắn sóng $x_T = 26,4 \text{ mm}$, tung độ tấm chắn sóng $y_T = 45,9 \text{ mm}$) để dễ có chiều sâu xuyên lớn nhất $b = 717,98 \text{ mm}$. Sai số so với phương pháp mô phỏng là 5%. Kết quả tính toán làm cơ sở cho việc định hướng thiết kế, chế tạo các loại đầu nổ lõm có sử dụng tấm chắn sóng cỡ 110 mm để nâng cao khả năng xuyên. Phương pháp nghiên cứu có thể mở rộng phạm vi khảo sát của thuật toán GSA để khảo sát nhiều tham số hơn như: vật liệu phễu lốt, vật liệu thuốc nổ, hình dạng thuốc nổ, tiêu cự nổ,...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Thuý, Trần Văn Định, "Uy lực đạn", Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, (2007).

- [2]. Trần Văn Định, “Cấu tạo, tác dụng đạn dược lực quân”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, (2005).
- [3]. Phạm Hữu Nguyên. “Nghiên cứu ảnh hưởng của tâm chấn sóng nổ đến chiều sâu xuyên đạn lõm”, Luận án TSKT, Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2021).
- [4]. Do Van Minh, Bui Minh Tuan, “Optimization of liner structure to enhance the penetration performance of shaped charge warhead”, Journal of Science and Technique, Vol.16, No. 02 (ISN 1859-0209), (2021).
- [5]. Norlina Mohd Sabri, Mazidah Puteh, and Mohamad Rusop Mahmood. “A Review of Gravitational Search Algorithm”, Int. J. Advance. Soft Comput. Appl., Vol. 5, No. 3, (2013).
- [6]. Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour, Saeid Saryazdi. “GSA: A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences”, vol. 179, no. 13, pp. 2232–2248, (2009).
- [7]. Trần Bá Tấn, Trần Văn Doanh, “Phương pháp tính toán uy lực đạn lõm có tính đến vị trí kích nổ”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật số 179 (ISN 1859-0209), Tr147-152, (2016).
- [8]. Liangliang Ding, Wenhui Tang and Xianwen Ran, “Simulation Study on Jet Formability and Damage Characteristics of a Low-Density Material Liner”, Materials 2018, 11, 72, (2017).
- [9]. ANSYS Autodyn User’s Manual (2021). <http://www.ansys.com>.
- [10]. T. Đ. Thành, N. V. Thủy, Đ. V. Minh, “Vật lý nổ và va đập”, NXB Quân đội Nhân dân, (2022).
- [11]. Орленко Л. П. “Физика взрыва”. В 2 т. -М., Физматлит, (2004).
- [12]. T. Sy Ngo, S. Beer and P. Konečný, “Effect of Target Arrangement and Target Materials Properties on Penetration Depth”, Advances in Military Technology, Vol. 15, No. 2, (2020).

ABSTRACT

Optimization of structural parameters of the warhead to the penetration ability of the shaped charge

The study of the rational selection of structural parameters for shaped charge warheads to achieve maximum penetration power is always a pressing issue that has received significant research attention. In this paper, the authors use a method for calculating the penetration power of shaped charges that takes into account the detonation position, combined with the Gravitational Search Algorithm (GSA) and the Autodyn 2D simulation method, to optimize the structure of a 110 mm shaped charge warhead by varying the following parameters: the half-angle of the liner cone α_0 , which varies within the range of $[25^\circ; 30^\circ]$; the height of the liner cone H , varying within the range of $[87 \text{ mm}; 90 \text{ mm}]$; the x -coordinate of the secondary detonation center x_T , varying within the range of $[21 \text{ mm}; 27 \text{ mm}]$; and the y -coordinate of the secondary detonation center y_T , varying within the range of $[40 \text{ mm}; 47 \text{ mm}]$. This initial research has identified a parameter set $[\alpha_0; H; x_T; y_T]$ that achieves a maximum penetration depth of $b = 717.98 \text{ mm}$.

Keywords: GSA; Optimization; Shaped charge warhead; Liner structure; Penetration.