

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của kết cấu ụ chống nổ lây tới khả năng hạn chế tác hại của vụ nổ

Nguyễn Hoàng Hải^{1*}, Ngô Văn An²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự, Số 236 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam;

²Tổng cục Kỹ thuật, Số 5, Nguyễn Tri Phương, Ba Đình, Hà Nội.

*Email: nguyenhoanghai.mta@gmail.com

Nhận bài: 12/7/2024; Hoàn thiện: 09/9/2024; Chấp nhận đăng: 18/9/2024; Xuất bản: 14/10/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.IPE.2024.228-236>

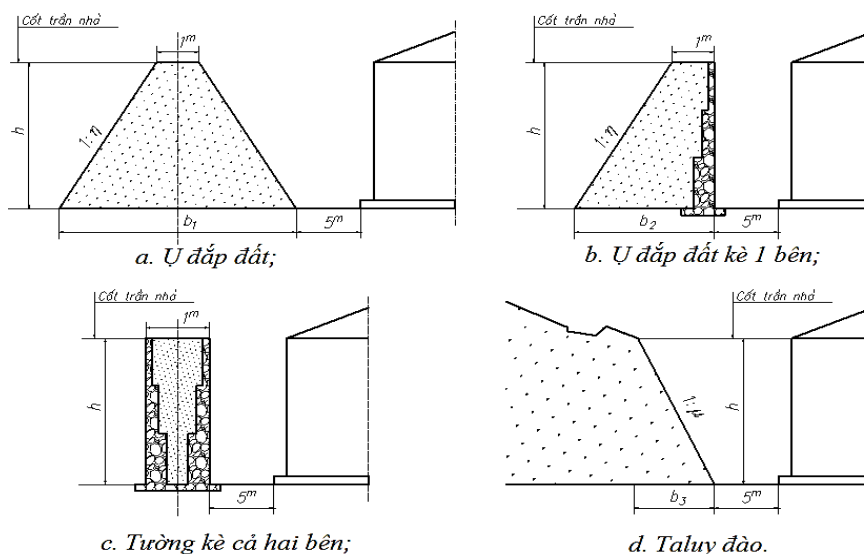
TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu khả năng hạn chế sóng nổ với dạng kết cấu khác nhau của ụ chống nổ lây dựa vào phương pháp mô phỏng số trên phần mềm Ansys Autodyn. Kết quả giải bài toán đánh giá sự thay đổi áp suất tại các vị trí trước, sau ụ chắn khi xảy ra sự cố nổ nhà kho chứa đạn dược trên cơ sở các kết cấu ụ chắn khác nhau được qui định cụ thể. Nghiên cứu cho phép định hướng lựa chọn kết cấu phù hợp nhất với ụ chắn nổ lây kho đạn dược lực quân trong thực tế.

Từ khoá: Ụ chống nổ lây; Kho đạn; Mô phỏng số.

1. MỞ ĐẦU

Ụ chống nổ lây là một thành phần quan trọng, đặc trưng trong kết cấu của nhà kho đạn dược với mục đích giảm thiểu tác hại của vụ nổ khi xảy ra sự cố. Hiện tại kết cấu, vật liệu của ụ chống nổ lây đã được qui định cụ thể trong (hình 1), tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của kết cấu ụ tới khả năng hạn chế tác hại của sản phẩm nổ, sóng xung kích khi xảy ra sự cố.



Hình 1. Các dạng ụ chống nổ lây theo qui định.

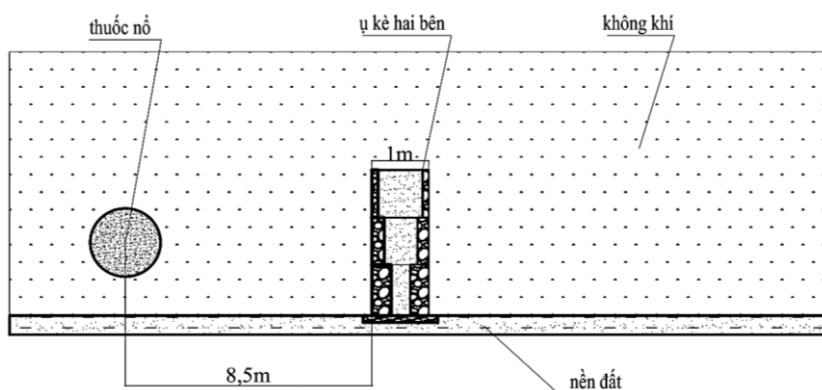
Hiện nay, trong nước và thế giới có rất ít các công trình nghiên cứu về vai trò của ụ chống nổ lây các nghiên cứu còn tương đối hạn chế, phương pháp nghiên cứu chủ yếu vẫn là thực nghiệm nên khá tốn kém và khó bao quát hết các trường hợp.

Bài báo sử dụng phương pháp mô phỏng số để biểu diễn quá trình hình thành và lan truyền sóng nổ qua các môi trường không khí, đất và bê tông (ụ chắn), tìm các thông số môi trường như áp suất (p), mật độ (ρ), tốc độ dịch chuyển (u),... tại vị trí cách tâm điểm nổ ở cự ly (R) khác nhau. So sánh kết quả thu được nhằm đánh giá sự ngăn chặn sóng nổ với các kết cấu ụ chắn khác nhau, từ đó đưa ra khuyến cáo áp dụng vào thực tế khai thác đạn hiện nay.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

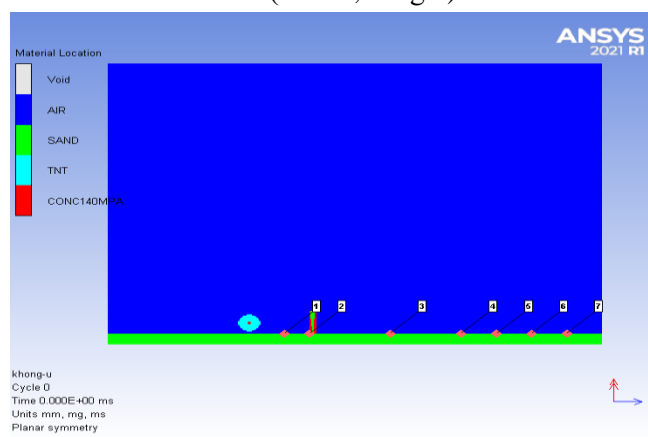
2.1. Mô hình hình học

Trong thực tế bài toán hình thành và lan truyền sóng nổ khi xảy ra sự cố nhà kho đạn dược nếu kể đến tất cả các yếu tố sẽ vô cùng phức tạp, do đó để đơn giản hoá cần qui bài toán về trường hợp nổ khối nổ TNT hình cầu có khối lượng bằng đương lượng TNT của nhà kho, tâm khối nổ đặt tại vị trí trung tâm nhà kho (hình 2).



Hình 2. Mô hình khảo sát ụ chống nổ lấy với kết cấu tường kê hai bên bằng bê tông.

Mô hình mô phỏng được đặt toàn bộ trong môi trường không khí vô hạn (biên vô hạn, không có sự phản xạ lại của sóng xung kích). Các điểm đo thông số môi trường (Điểm Gauss) được đặt ở khoảng cách R so với tâm khối cầu TNT (hình 3, bảng 1).



Hình 3. Mô hình mô phỏng trong ANSYS/Autodyn.

Bảng 1. Vị trí các điểm đo trong mô hình.

Number	Part	I	J	X-Coordinate	Y-Coordinate
1	Không khí	126	2	5.00E+03	5.00E+00
2	Không khí	144	2	8.50E+03	5.00E+00
3	Không khí	201	2	2.00E+04	5.00E+00
4	Không khí	251	2	3.00E+04	5.00E+00
5	Không khí	276	2	3.50E+04	5.00E+00
6	Không khí	301	2	4.00E+04	5.00E+00
7	Không khí	326	2	4.50E+04	5.00E+00

(*). Đơn vị thiết lập trong Ansys: mm, mg, ms.

2.2. Mô hình toán học

Hệ phương trình mô tả chuyển động và trạng thái của vật chất trong quá trình hình thành, lan truyền sóng nổ là hệ các phương trình vi phân cơ bản trong cơ học môi trường liên tục, bao gồm phương trình bảo toàn khối lượng, bảo toàn động lượng, bảo toàn năng lượng, các phương trình liên hệ (phương trình mô tả tính chất cơ lý của chất nổ, không khí và ụ chắn) và phương trình động lực học.

Để mô tả tính chất của chất nổ và sản phẩm nổ cũng như quá trình giải phóng năng lượng, trước khi nổ, chất nổ được coi là vật liệu đàn hồi dẻo lý tưởng và sau khi nổ nó trở thành chất khí (sản phẩm nổ). Sản phẩm nổ được mô tả bằng phương trình trạng thái JWL [4]:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V}$$

Trong đó: p – Áp suất, E – Nội năng riêng; V – Thể tích tương đối; ω, A, B, R_1, R_2 là các hệ số thực nghiệm ứng với từng loại chất nổ.

Quá trình giải phóng năng lượng hóa học ở mỗi phần tử khi nổ diễn ra trong một khoảng thời gian nhất định, để mô tả quá trình này sử dụng hệ số tỉ lệ cháy F :

$$F = \max(F_1, F_2);$$

Trong đó:

$$F_1 = \begin{cases} \frac{2(t-t_1)D}{3 \left(\frac{v_e}{A_{e\max}} \right)} & \text{khi } t > t_1 \\ 0 & \text{khi } t \leq t_1 \end{cases}$$

$$F_2 = \frac{1-V}{1-V_{CJ}}$$

với D – Tốc nổ nổ; v_e và $A_{e\max}$ – Thể tích và chiều dài đường chéo lớn nhất của phần tử chất nổ; V_{CJ} – Thể tích Chapman-Jouguet (thể tích nén tương đối khi đó bắt đầu diễn ra phản ứng nổ); t_1 thời điểm bắt đầu xảy ra phản ứng nổ trong phần tử (bắt đầu giải phóng năng lượng); t – Thời điểm hiện tại. Nếu $F > 1$ thì F được lấy bằng 1. Sau khi đạt tới giá trị bằng 1, F được giữ không đổi (bằng 1). Thời gian cháy t_1 được tính toán cho mỗi phần tử bằng tỉ số giữa khoảng cách từ điểm kích nổ tới tâm của phần tử và vận tốc lan truyền nổ D . Trường hợp nếu có nhiều điểm kích nổ thì t_1 được xác định bởi điểm kích nổ gần nhất.

Như vậy, áp suất của sản phẩm nổ được tính sẽ bằng tích của hệ số tỉ lệ cháy F và áp suất tính theo phương trình trạng thái JWL.

$$p = p_{JWL} \cdot F$$

với p_{JWL} là áp suất trong phương trình trạng thái JWL.

Để mô tả tính chất của không khí trong quá trình lan truyền sóng nổ sử dụng phương trình trạng thái:

$$p = (\gamma - 1) \rho E$$

với γ - Hằng số khí lý tưởng ($\gamma=1,4$); $E = C_v \cdot T$ - Nội năng riêng, T - Nhiệt độ, C_v - Nhiệt năng riêng.

Để mô tả tính chất của đất cát sử dụng mô hình vật liệu xốp [3]. Độ xốp α của vật liệu được

$$\text{xác định bằng tỷ số: } \alpha = \frac{\rho_S}{\rho_p}$$

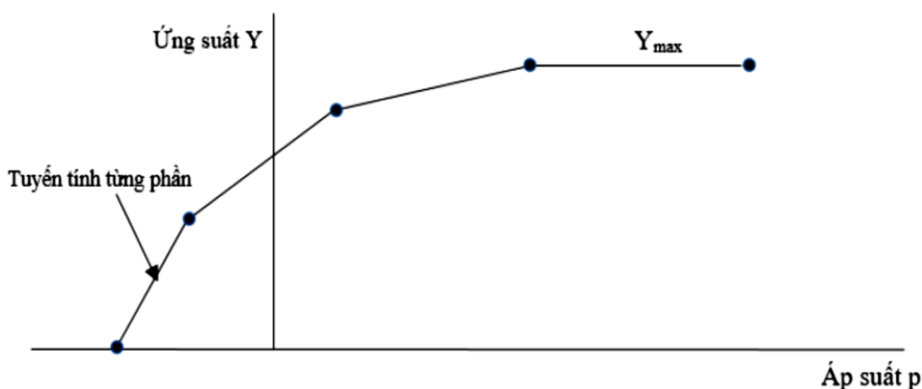
Trong đó: ρ_p – Mật độ của đất cát thực tế khi ở áp suất p ; ρ_S – Mật độ đất cát ở áp suất p với giá

thiết đã được nén chặt hoàn toàn (không có lỗ rỗng). Nếu $\alpha = 1$, thì vật liệu coi là đã được nén chặt hoàn toàn.

Với mô hình này cần phải biết đường cong nén (chất tải) – đường cong phụ thuộc mật độ vào áp suất và đường cong dỡ tải – đường cong phụ thuộc tốc độ âm thanh vào mật độ.

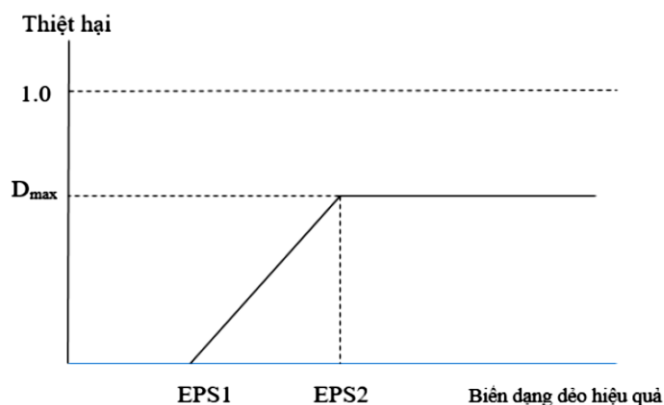
Mô hình bền cho vật liệu bê tông [2]

Với vật liệu đất khô, đá, bê tông trong đó sự gắn kết và nén chặt của vật liệu dẫn đến sự gia tăng khả năng chống cắt lên tới giá trị giới hạn của cường độ chảy khi tải tăng. Trong AUTODYN mô hình hóa bằng sự biến đổi tuyến tính từng phần của ứng suất chảy theo áp suất (hình 4) đến giá trị Y_{max} .



Hình 4. Mô hình bền cho vật liệu bê tông trong Autodyn.

Để mô hình hóa quá trình phá hủy dần dần và sự suy yếu tiếp theo của vật liệu bê tông, mô hình tính toán hệ số “Thiệt hại” thường liên quan đến mức độ biến dạng của vật liệu phải chịu. Hệ số thiệt hại này được sử dụng để giảm mô đun đàn hồi và cường độ ứng suất của vật liệu khi tiến hành tính toán. Trong mô hình tiêu chuẩn, hệ số thiệt hại được biểu thị bằng tham số D bằng 0 đối với tất cả các biến dạng dẻo mà hiệu ứng biến dạng dẻo nhỏ hơn giá trị EPS1. Sau khi đạt tới EPS1, hệ số thiệt hại D tăng tuyến tính với biến dạng lên đến giá trị tối đa Dmax (<1) tại giá trị của biến dạng dẻo hiệu quả EPS2, như trong hình 5.



Hình 5. Mô hình phá hủy cho vật liệu bê tông trong Autodyn.

Để có thể giải hệ phương trình trên cần đặt các điều kiện đầu và điều kiện biên phù hợp.

- Điều kiện đầu:

Ở trạng thái ban đầu coi vật chất không chịu tác động của ngoại lực và đứng yên, áp suất của không khí bằng 1atm, nghĩa là: $\epsilon_{ij} = 0$; $a = v = 0$, đối với chất nổ và ụ chắn: $\sigma_{ij} = 0$, còn đối với không khí $p = 10^5$ Pa.

- Điều kiện biên:

Điều kiện biên tại các bề mặt tiếp xúc giữa không khí và chất nổ, ở bề mặt tiếp xúc giữa không khí và ụ chắn phải đảm bảo tính liên tục, do đó tại các điểm tiếp xúc phải có cùng tọa độ, vận tốc chuyển động bằng nhau, ứng suất có giá trị tuyệt đối bằng nhau nhưng ngược chiều.

Do không khí và đất là nửa vô tận, khi mô phỏng chỉ xem xét vùng không gian đủ lớn xung quanh khối thuốc nên cần đặt điều kiện biên vô hạn tại bề mặt ngoài của không khí và nền đất.

Mô hình bài toán sử dụng lưới dạng Euler với không khí và Lagrange cho vật liệu kết cấu ụ chắn, nền đất coi như tuyệt đối cứng, điều kiện biên Flow_out cho không khí. Xây dựng mô hình hình học (chọn kiểu phân tử, kích thước lưới, tạo mô hình hình học, gán vật liệu, đặt điểm Gauss,...) được thực hiện trong môi trường Autodyn-2D.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành mô phỏng trường hợp nổ có khối thuốc nổ hình cầu ở gần mặt đất và xem xét quá trình lan truyền sóng ra không khí xung quanh trong ba trường hợp có ụ chắn ụ đắp đất, ụ đắp đất kê 1 bên, và ụ kê hai bên bằng bê tông. Lấy khối thuốc nổ TNT khối lượng 25 tấn (bằng đương lượng TNT của một nhà kho cấp chiến lược), với mật độ TNT bằng 1630 (kg/m³) thì bán kính khối thuốc nổ bằng 1,54 m. Tâm nổ cách mặt đất một khoảng $h_1 = 2$ m (bằng 1/2 chiều cao nhà kho) tâm khối TNT cách ụ chắn 8,5 m (do khoảng cách từ tường tới chân ụ chắn là 5 m, bề rộng nhà kho trung bình là 7 m). Môi trường không khí có kích thước 70 m × 50 m. Nền đất có kích thước 70 m × 2 m. Coi tại thời điểm ban đầu khối thuốc nổ được kích nổ tại tâm của khối cầu.

Tham số đầu vào của không khí và thuốc nổ TNT được trình bày trong bảng 2, bảng 3.

Bảng 2. Các tham số trạng thái của không khí [2].

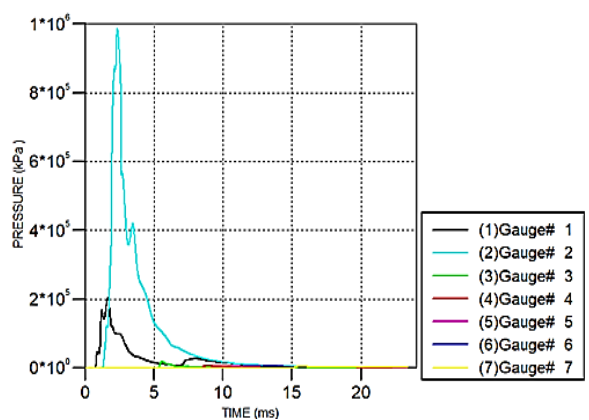
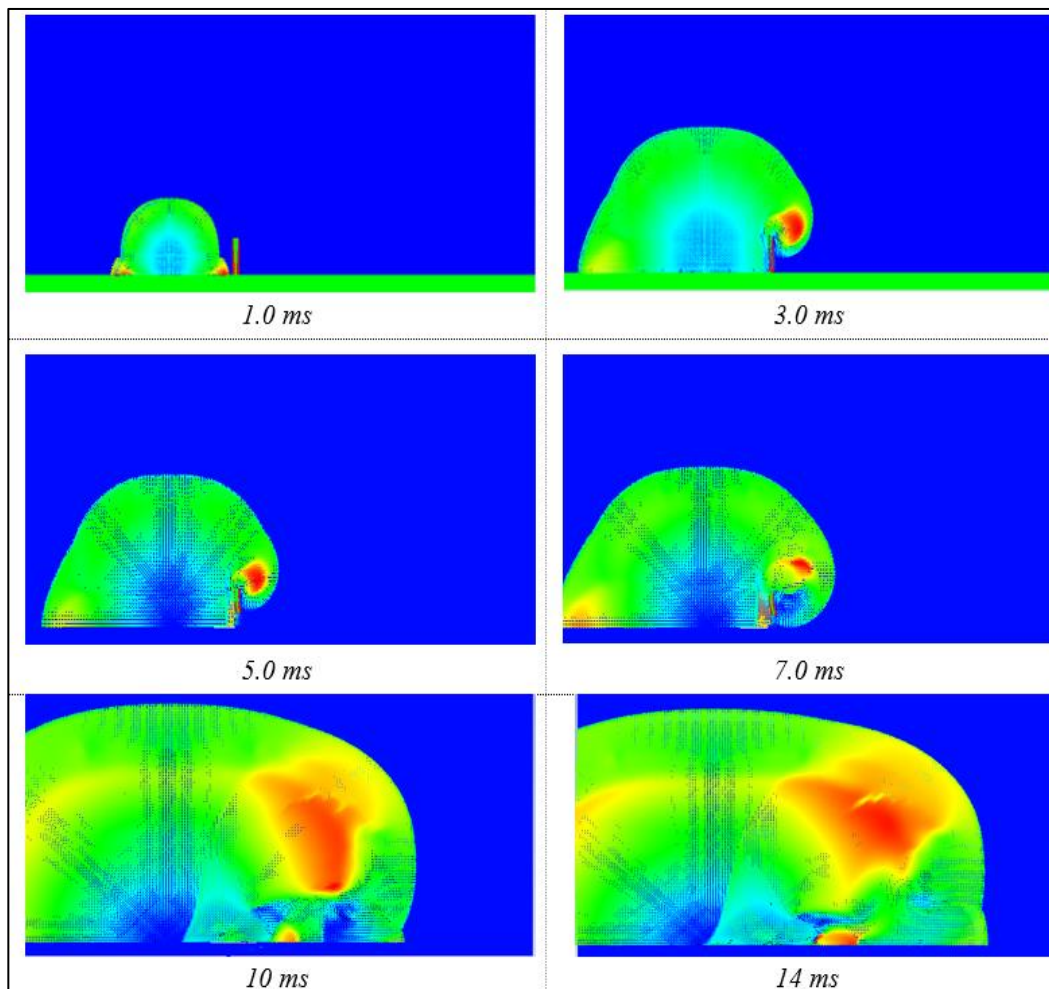
Tham số	Giá trị	Đơn vị
Mật độ	0,001225	g/cm ³
Hệ số Gamma	1,4	
Hệ số đoạn nhiệt	0	
Chênh áp suất	0	kPa
Nhiệt độ	288.2	K
Nhiệt năng riêng	717.5999	J/kgK
Tính dẫn nhiệt	0	J/mKs

Bảng 3. Các tham số của phương trình trạng thái JWL với thuốc nổ TNT [3].

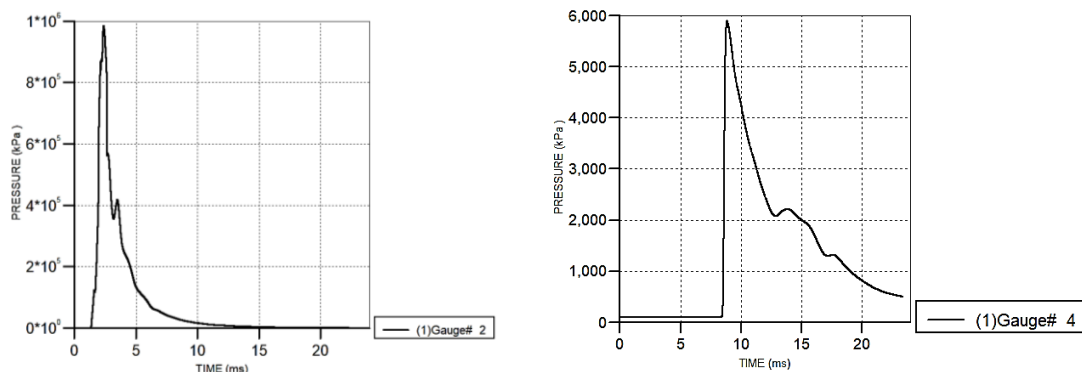
Tham số	Giá trị	Đơn vị
Mật độ	1,63	g/cm ³
Tốc độ nổ	6930	m/s
Áp suất chapman-jouguet	2,1.10 ⁷	kPa
Hệ số A	3,712001.10 ⁸	kPa
Hệ số B	3,231001.10 ⁶	kPa
Hệ số R_1	4,15	
Hệ số R_2	0,95	
Hệ số ω	0,3	
Nội năng trên đơn vị thể tích E	7.10 ⁹	J/m ³
Tự động chuyển thành khí lý tưởng	Có	

Kết quả mô phỏng với dạng ụ kết cấu bê tông tường kê hai bên được thể hiện trên bảng 4. Dựa vào hình ảnh kết quả mô phỏng, ta thấy sóng xung kích bị ngăn chặn một cách đột ngột khi va đập với thân ụ, đồng thời ụ bị phá hủy sau khi sóng xung kích đi qua. Kết quả đo áp suất tại các điểm đo được thể hiện trên hình 6, hình 7 và bảng 5.

Bảng 4. Kết quả hình ảnh mô tả quá trình nổ.



Hình 6. Đồ thị áp suất – thời gian tại và giá trị áp suất lớn nhất, áp suất nhỏ nhất tại các điểm Gauss: 1. R = 5 m; 2. R = 8,5 m; 3. R = 20 m; 4. R = 30 m; 5. R = 35 m; 6. R = 40 m; 7. R = 45 m.



Hình 7. So sánh áp suất các điểm Gauss tại chân ụ chắn ở các khoảng cách 5 m và 30 m.

Bảng 5. Kết quả áp suất cực đại tại các điểm đo.

Plot	Minimum Y Value		Maximum Y Value	
	X	Y	X	Y
1	0.0000e+00	1.0133e+02	1.6811e+00	2.0277e+05
2	1.1638e+00	1.0133e+02	2.3449e+00	9.8479e+05
3	1.8306e+01	7.0708e+01	5.5957e+00	1.7816e+04
4	0.0000e+00	1.0133e+02	8.8610e+00	5.8925e+03
5	0.0000e+00	1.0133e+02	1.0938e+01	4.8792e+03
6	0.0000e+00	1.0133e+02	1.3195e+01	4.3117e+03
7	0.0000e+00	1.0133e+02	1.5599e+01	3.6194e+03

Ta thấy tại vị trí điểm Gauss 2 (chân ụ, phía gần tâm nổ) có áp suất cực đại là lớn nhất. Nguyên nhân là do tại đó có sự giao thoa cộng gộp mạnh nhất giữa áp sóng va đập tới và sóng va phản xạ từ thành ụ và từ mặt đất. Vì điểm Gauss 2 nằm sát chân ụ nên khoảng thời gian 3 sóng (sóng va đập tới, sóng phản xạ từ thành ụ và sóng phản xạ từ mặt đất) gặp nhau gần như tại một thời điểm, do vậy nhìn vào đồ thị áp suất (hình 6) ta thấy gần như chỉ có 1 đỉnh áp suất. Tại điểm Gauss 4 phía sau chân ụ áp suất giảm tới 65% và so với điểm Gauss 3 cách chân ụ 20 m áp suất giảm tới 98% (bảng 5).

Bên cạnh đó, ngoài tác dụng ngăn cản sự lan truyền sóng nổ, ụ chắn còn có tác dụng chắn mảnh văng có trong quá trình nổ đồng thời hạn chế đáng kể ảnh hưởng của sản phẩm nổ (bảng 2) tại thời gian 3 ms và 5 ms. Số liệu tính toán nêu trên cho thấy tác dụng che chắn rất lớn của ụ chắn nhằm ngăn cản sóng va đập tác động vào con người hay phương tiện kỹ thuật, đạn dược,... phía sau ụ chắn.

Tiếp tục mô phỏng với các dạng kết cấu ụ chắn dạng đắp đất và ụ đắp đất có kè một bên, kết quả thu được bố trí dạng bảng để tiện so sánh (bảng 6).

Bảng 6. Bảng so sánh áp suất sóng xung kích với các dạng ụ phòng nổ theo qui định.

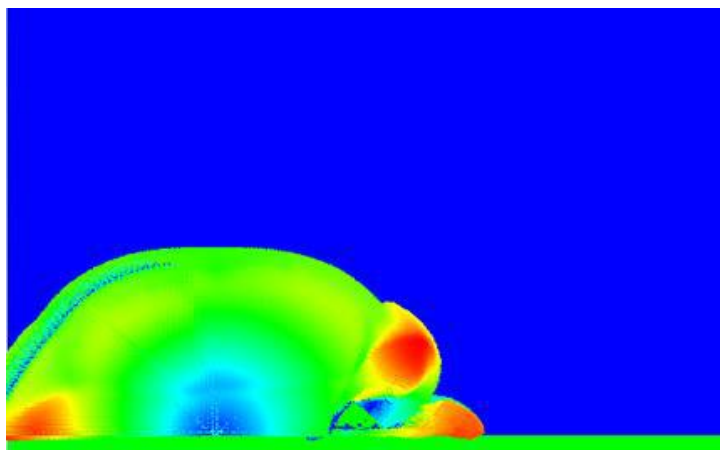
TT	Khoảng cách (m)	Áp suất lớn nhất P_{max}		
		Ụ đắp đất	Ụ đắp đất có kè một bên	Tường kè hai bên bê tông cốt thép
1	5	2,0297E+05	2,0153E+05	2,0277E+05
2	8,5	7,7756E+04	1,3401E+06	9,8479E+05
3	20	5,2087E+03	8,1883E+03	1,7816E+04
4	30	4,7227E+03	5,9475E+03	5,8925E+03
5	35	3,6561E+03	4,4825E+03	4,8792E+03
6	40	2,9902E+03	3,7763E+03	4,3117E+03
7	45	5,9415E+03	3,1792E+03	3,6194E+03

So sánh giữa ụ đắp đất đối với ụ tường kê hai bên bê tông cốt thép, ta thấy tại vị trí trước ụ chắn 8,5 m giá trị áp suất có nhiều thay đổi. Đối với ụ tường kê hai bên bê tông cốt thép áp suất có hướng tăng cao tăng lên 11 lần so với ụ đắp đất và áp suất từ 20 m đến 40 m ụ đắp đất giảm so với ụ kê hai bên bằng bê tông khá nhiều.

Như vậy, ta có thể thấy được khả năng ngăn chặn sóng xung kích của ụ đắp đất là tốt hơn so với ụ tường kê hai bên bằng bê tông, đồng thời sau $t = 10$ ms ụ tường kê hai bên bằng bê tông bị phá hủy hoàn toàn (bảng 4).

Đối với ụ đắp đất sóng xung kích và sản phẩm nổ có xu hướng trùm lên phía sau ụ giải thích cho hiện tượng này là do độ vát đắp (η) là khá lớn (độ dốc nhỏ), điều này cũng làm cho khả năng bị phá hủy của ụ giảm xuống nhiều so với ụ có độ vát (η) nhỏ (hình 8).

So sánh giữa ụ tường kê một bên đối với ụ tường kê hai bên bê tông cốt thép ta thấy tại vị trí trước ụ chắn 8,5 m giá trị áp suất của ụ tường kê một bên có sự tăng cao 36% so tường kê hai bên bê tông cốt thép và áp suất tại vị trí 45 m sai lệch âm 13,8%. Chứng tỏ tường kê một bên có khả năng ngăn chặn sóng xung kích tốt hơn ụ tường kê hai bên bê tông cốt thép. Hai kết cấu đều bị phá hủy tại thời điểm $t = 10$ ms tới 14 ms.



Hình 8. Hình ảnh sóng xung kích và sản phẩm nổ trùm qua ụ đất.

Kết quả mô phỏng nổ cho thấy với dạng kết cấu khác nhau của ụ chống nổ lây theo qui định có khả năng hạn chế ảnh hưởng của sản phẩm nổ và sóng xung kích khi xảy ra vụ nổ, song vai trò và tác dụng khác nhau nên cần căn cứ vào điều kiện thực tế như khu vực, diện tích bố trí,... để lựa chọn.

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả phân tích ở trên, thấy được ưu, nhược điểm của các kết cấu khác nhau của ụ chống nổ lây với khả năng ngăn cản sự lan truyền sóng xung kích, đồng thời hạn chế đáng kể ảnh hưởng của sản phẩm nổ tới khu vực phía sau ụ. Kết cấu ụ bê tông kê 1 hoặc 2 bên, có nhược điểm lớn là bị phá hủy khi xảy ra sự cố nổ nhà kho đạn dược nên khi xây dựng cần tính toán chọn dạng ụ chắn hợp lý với địa hình, kinh tế và giá trị mang lại khi xảy ra sự cố. Áp suất dư tại vị trí phía sau ụ chắn mặc dù đã giảm mạnh song vẫn tương đối lớn, có thể gây nguy hiểm cho con người và phá hủy một phần các công trình xung quanh gần nhà kho.

Kết quả bài báo có thể giúp định hướng chọn vật liệu và kết cấu ụ chống nổ lây khi xây dựng nhà kho cất chứa đạn dược hoặc vật liệu nổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Đình Thành, “*Vật lý nổ và va đập*”. Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân, (2020).
- [2]. AUTODYN help, ANSYS WORKBENCH, (2021).
- [3]. Под ред. Орленко Л. П Физика взрыва,. В 2 т. Т.1. -М., ФИЗМАТЛИТ, (2002).

- [4]. Под ред. Орленко Л. П Физика взрыва,. В 2 т. Т.2. -М., ФИЗМАТЛИТ, (2002).
[5]. Cục Quân khí. Hướng dẫn qui hoạch kho đạn dược Lục quân.

ABSTRACT

Evaluation of the explosion-proof limiting capability of the barricade's structure of the ammunition magazines

This paper evaluates the ability to limit blast waves with different structures of the barricade based on numerical simulation methods using Ansys Autodyn software. The results allow to evaluate the pressure at the positions before and after the barricade, based on the different structures specified. The article orientates the selection of the most suitable structure for the barricade of the ammunition magazines in real cases.

Keywords: Barricade; Ammunition magazines; Explosion simulation.