

MÔ PHỎNG GIẢI PHÁP CHỐNG NỔ LÂY CHO CỤM KHO CHỨA THUỐC NỔ THEO QCVN 01:2019/BCT

SIMULATION OF EXPLOSION RESISTANCE FOR THE CLUSTER OF EXPLOSIVE STORAGE FACILITIES TO QCVN 01:2019/BCT

PHAN THÀNH TRUNG^{a,*}; ĐINH VIỆT THANH^a

^aViện Kỹ thuật công trình đặc biệt

*Tác giả đại diện: Email: thanhtrungphank4@gmail.com

Ngày nhận 8/8/2024, Ngày sửa 9/9/2024, Chấp nhận 15/9/2024

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2024.vi.vol3-1>

Tóm tắt: Bài báo tập trung vào nghiên cứu và đánh giá giải pháp chống nổ lây của kho thuốc nổ theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 01:2019/BCT về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ bằng mô phỏng số. Kết quả nhằm đánh giá mức độ tin cậy của mô phỏng, lựa chọn mô hình tính và mô hình vật liệu trong mô phỏng kết cấu chịu tác dụng của tải trọng nổ bằng phần mềm ABAQUS.

Từ khóa: Chống nổ lây, phá hủy bê tông cốt thép, mô hình Holmquist – Johnson – Cook.

Abstract: The article focuses on researching and evaluating solutions to prevent explosive explosion of explosive warehouses according to national technical regulations QCVN 01:2019/BCT on safety in production, testing, acceptance, storage, and transportation use and destruction of industrial explosives and preservation of explosive precursors by numerical simulation. The results are to evaluate the reliability of simulation, selection of calculation model and material model in simulating structures subjected to explosive loads using ABAQUS software.

Keywords: Explosion resistance, demolition of reinforced concrete, Holmquist - Johnson - Cook model.

1. Giới thiệu

Mỗi loại thuốc nổ có độ nhạy với các loại năng lượng có thể kích nổ thuốc nổ khác nhau. Việc thiết kế các cụm kho chứa thuốc nổ phải có sự tính toán kỹ lưỡng nhằm đảm bảo trong quá trình lưu kho không bị các tác nhân không mong muốn kích nổ và trong tình huống xấu nhất có một trong các kho chứa bị kích nổ thì các kho khác không bị nổ lây.

Để kích nổ thuốc nổ nào đó cần phải cung cấp cho nó một năng lượng ban đầu xác định. Năng lượng này có thể được truyền cho thuốc nổ dưới các dạng khác nhau, chủ yếu là: năng lượng cơ học (va đập, đâm chọc, ma sát), nhiệt (nung nóng, tia lửa, ngọn lửa) và năng lượng nổ của chất nổ khác. Giá trị năng lượng nhỏ nhất cần để kích nổ một loại thuốc nổ trong điều kiện nhất định được gọi là xung ban đầu. Tùy thuộc vào các dạng năng lượng có thể chia xung ban đầu thành các dạng khác nhau là: xung đơn giản (va đập, đâm chọc, ma sát, nung nóng, tia lửa...) và xung phức tạp (xung nổ) [1].

Các chất nổ nói chung, nhiều ít đều có khả năng chống tác dụng bên ngoài, không tự phát sinh ra nổ. Muốn kích thích nổ cần phải cung cấp cho chất nổ một năng lượng nào đó. Năng lượng cần thiết dùng để kích thích chuyển hoá nổ càng nhỏ thì chất nổ có độ nhạy càng lớn và ngược lại. Năng lượng ban đầu thường được đặc trưng bằng đại lượng xung, có thể có các dạng xung ban đầu như cơ nhiệt, điện và xung gây nổ của một lượng nổ khác [2].

Độ nhạy của chất nổ với các xung ban đầu có ý nghĩa thực tế rất lớn. Một mặt, chất không được quá nhạy, vì trong trường hợp ngược lại nó sẽ làm hạn chế quá trình khai thác và sử dụng. Mặt khác, chất nổ phải đủ nhạy với một dạng xung xác định, tức là xung đó phải đủ mạnh để kích nổ chất nổ tin cậy trong điều kiện sử dụng thực tế [1]. Những vấn đề được nghiên cứu về độ nhạy của chất nổ không chỉ có ý nghĩa đơn thuần về mặt thực tế mà nó còn có ý nghĩa lớn trong lý thuyết nổ, nó có thể được dùng để giải thích cơ chế đặc biệt, quy luật diễn ra quá trình nổ ở giai đoạn đầu kích nổ. Trong bài toán tính toán chống nổ lây cho cụm kho thuốc nổ, độ nhạy của thuốc nổ đối với xung gây nổ của một lượng nổ khác gây ra được xét đến.

Một lượng nổ có thể gây nổ lượng nổ khác nằm cách nó một khoảng cách nhất định. Hiện tượng này được gọi là truyền nổ qua khoảng cách. Lượng nổ dùng để kích nổ gọi là lượng nổ tích cực, còn lượng được kích nổ gọi là lượng nổ thụ động.

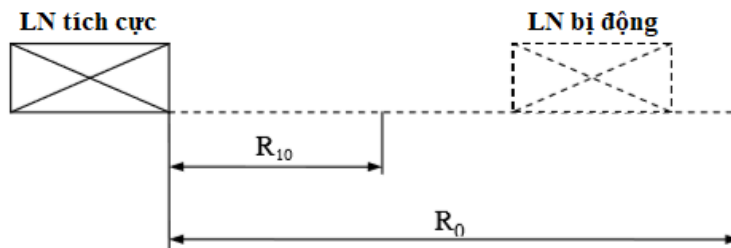
Trên thực tế, truyền nổ có thể thực hiện qua các môi trường khác nhau. Thông thường chúng ta hay gặp nhất là truyền nổ qua môi trường không khí. Trong trường hợp này, một phần năng lượng nổ của lượng nổ tích cực được chuyển sang lượng nổ bị động bằng ba cách: Sóng xung kích, dòng sản phẩm nổ và các phần tử rắn bị văng ra do nổ.

Hiện tượng truyền nổ qua khoảng cách có đặc trưng xác suất, khoảng cách mà trên đó sự truyền

nổ được thực hiện từ lượng nổ tích cực tới lượng nổ bị động, mỗi trường hợp cụ thể có thể đạt được với một xác suất nhất định. Vị trí tương hỗ giữa lượng nổ tích cực và lượng nổ bị động được đặc trưng bởi một khoảng nào đó (hình 1), tại mỗi điểm nằm trong khoảng này, xác suất kích nổ lượng nổ bị động ở điều kiện nổ cho trước của lượng hoạt động thay đổi trong phạm vi từ 0 tới 1.

Tại khoảng cách tính từ lượng nổ tích cực nhỏ hơn khoảng cách từ lượng nổ tích cực tới bề mặt gần nhất của vùng này, xác suất kích nổ lượng nổ bị động bằng 1.

Tại khoảng cách lớn hơn bề mặt xa của vùng đó, xác suất kích nổ lượng nổ bị động đều bằng 0 [1].



Hình 1. Khoảng cách đặc trưng giữa lượng nổ tích cực và lượng nổ bị động

Thông thường, người ta chỉ xem xét ba khoảng cách đặc trưng:

1. R_{100} – khoảng cách lớn nhất (giới hạn) từ lượng nổ tích cực mà trên đó, xác suất kích nổ lượng nổ bị động luôn bằng 1.
2. R_{50} – khoảng cách tới hạn nào đó từ lượng nổ tích cực mà trên đó, xác suất kích nổ lượng nổ bị động bằng 0,5.
3. R_0 – khoảng cách nhỏ nhất từ lượng nổ tích cực mà trên đó, xác suất kích nổ bằng 0.

Khoảng cách mà $R > R_0$ được gọi là khoảng cách an toàn truyền nổ. Trong thực tế, đại lượng R_0

được sử dụng để xác định khoảng cách giữa các kho bảo quản thuốc nổ nhằm loại bỏ khả năng lan truyền nổ sang các kho khác trong trường hợp một kho nào đó bị nổ [1].

Khoảng cách an toàn truyền nổ, được tính theo công thức:

$$R_{at} = K \cdot \sqrt{m_{cn}} \quad (1)$$

trong đó: m_{cn} là khối lượng lượng nổ tích cực, kg;

K là hệ số tính tới một số tính chất của lượng nổ tích cực và bị động.

Bảng 1. Hệ số K đối với một số thuốc nổ lượng nổ tích cực và bị động

Thuốc nổ lượng nổ tích cực	Hệ số K khi lượng nổ bị động chế tạo từ	
	Amonit	Trotyl
Amonit	0,25	0,40
Trotyl	0,80	1,20

Trong trường hợp khối lượng lượng nổ tích cực rất lớn (lớn hơn 1.000 kg) thì R_{at} được tính theo công thức:

$$R_{at} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{m_{cn}} \quad (2)$$

Ngoài ra, khoảng cách truyền nổ an toàn thường được quyết định bởi các bản hướng dẫn

của cơ quan chức năng liên quan tới việc sử dụng thuốc nổ [1].

2. Đặt bài toán nghiên cứu

Trong toàn bộ khu vực cụm kho thuốc nổ sẽ có nhiều kho nhỏ chứa các loại vật liệu nổ khác nhau: kho chứa thuốc nổ, kho để kíp nổ, kho để dây cháy

chậm, dây nổ,... Khoảng cách giữa các kho phải lớn hơn khoảng cách đảm bảo không truyền nổ từ khối thuốc nổ này sang khối thuốc nổ khác.

Khoảng cách an toàn truyền nổ giữa các kho thuốc nổ theo QCVN 01:2019/BCT [3] được tính theo công thức sau:

$$r_{tr} = \sqrt[3]{q_1 K_{tr1}^3 + q_2 K_{tr2}^3 + \dots + q_n K_{trn}^3} \cdot \sqrt[4]{\bar{D}} \quad (3)$$

trong đó: r_{tr} là khoảng cách an toàn chống nổ lấy, m;

$q_1, q_2, \dots, q_n$ là khối lượng của các loại thuốc nổ trong khối thuốc nổ. Tổng q đúng bằng khối lượng toàn bộ khối thuốc nổ chứa trong một nhà kho, kg;

$K_{tr1}, K_{tr2}, K_{trn}$ là hệ số phụ thuộc vào loại thuốc nổ và điều kiện bố trí khối thuốc nổ, quy định tại bảng 2;

$\bar{D}$ là kích thước hiệu quả của khối thuốc nổ, m.

Trong trường hợp nhà kho chỉ chứa một loại thuốc nổ, công thức (3) có thể được viết lại dưới dạng như sau:

$$r_{tr} = K \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot \sqrt[4]{\bar{D}} \quad (4)$$

trong đó: r_{tr} là khoảng cách an toàn chống nổ lấy, m;

K là hệ số phụ thuộc vào loại thuốc nổ và điều kiện bố trí khối thuốc nổ;

Q là khối lượng thuốc nổ chứa trong một kho, kg;

$\bar{D}$ là kích thước hiệu quả của khối thuốc nổ, m.

Bảng 2. Trị số K_{tr} để tính khoảng cách an toàn chống nổ lấy

Khối thuốc nổ chủ động		Khối thuốc nổ bị động							
Loại thuốc nổ	Vị trí đặt khối thuốc nổ	Amonit, thuốc nổ có dưới 40% nitroester lỏng		Thuốc nổ có từ 40% nitroester lỏng trở lên		TNT		Ống nổ	
		để nổi	để ngấm	để nổi	để ngấm	để nổi	để ngấm	để nổi	để ngấm
1. Amonit và thuốc nổ có dưới 40% nitroester lỏng	để nổi để ngấm	0,65 0,40	0,40 0,25	0,90 0,65	0,65 0,40	1,00 0,80	0,80 0,50	0,65 0,40	0,40 0,25
2. Thuốc nổ có từ 40% nitroester lỏng trở lên	để nổi để ngấm	1,30 0,80	0,80 0,50	1,80 1,30	1,30 0,80	2,00 1,60	1,60 1,00	1,30 0,80	0,80 0,50
3. TNT	để nổi để ngấm	1,00 0,75	0,75 0,50	1,30 1,00	1,00 0,70	1,50 1,10	1,10 0,65	1,10 0,75	0,75 0,54
4. Kíp nổ	để nổi để ngấm	0,35 0,20	0,20 0,15	0,60 0,40	0,40 0,30	0,35 0,45	0,45 0,3	0,35 0,20	0,20 0,15

Khi tính toán khoảng cách an toàn đối với kho vật liệu nổ công nghiệp, lựa chọn hệ số quy đổi 1,0 kg thuốc nổ an toàn tương đương với 1,0 kg thuốc nhạy nổ; 1,0 kg thuốc súng; 100 kíp nổ - 10 quả đạn khoan; 2,0 kg thuốc nổ đen hoặc thuốc phóng [3].

Trường hợp khối thuốc nổ đặt ngấm dưới đất được coi như khối thuốc nổ được đắp ụ chắn xung quanh.

Trường hợp khối thuốc nổ bị động gồm nhiều loại thuốc nổ khác nhau, khi tính phải chọn hệ số K_{tr} đối với loại thuốc nổ có độ nhạy lớn nhất.

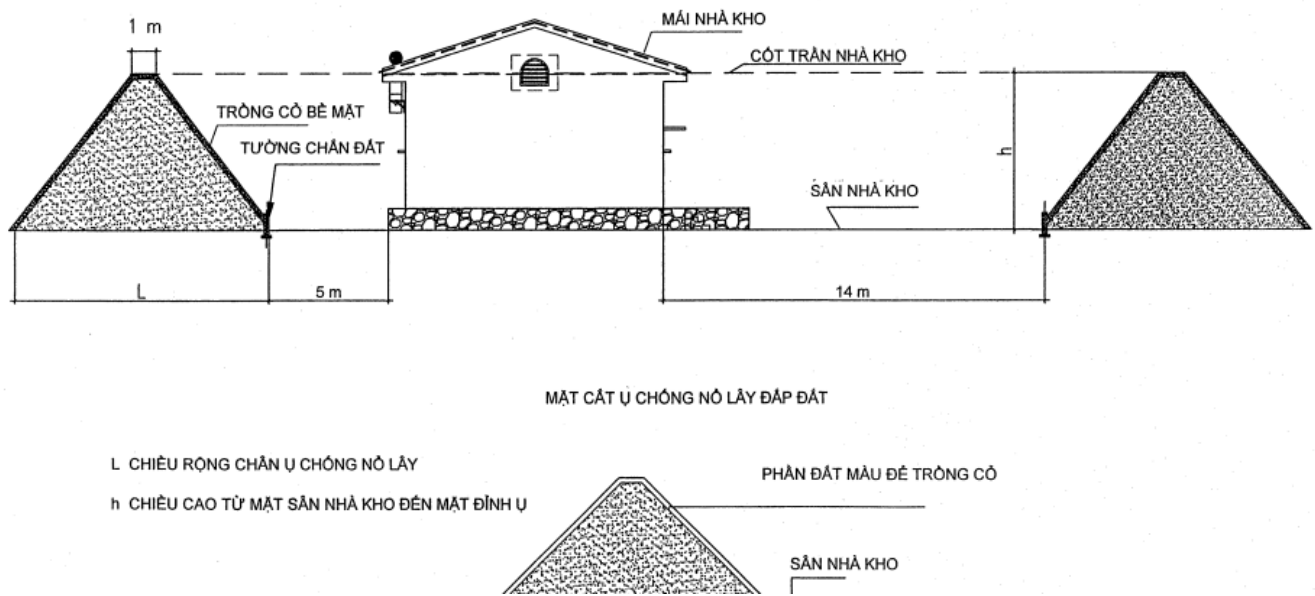
Khi hai khối thuốc nổ lân cận nhau, tính khoảng cách an toàn chống nổ lấy đối với mỗi khối thuốc nổ và chọn khoảng cách an toàn lớn nhất trong số khoảng cách đã tính được [3].

Trong điều kiện không cho phép về diện tích, có thể tiến hành xây dựng các kho thuốc nổ gần nhau hơn khoảng cách an toàn chống nổ lấy, đồng thời

xung quanh kho phải xây các tường phòng nổ dày lớn hơn 1m bằng đất, cát... chân tường cách tường kho từ 1m đến 3m. Một trong những giải pháp an toàn chống nổ lấy giữa các kho thuốc nổ được đề cập là sử dụng ụ chống nổ lấy bố trí xung quanh kho thuốc nổ.

Ụ chống nổ lấy là ụ cấu tạo bằng đất hoặc bê tông cốt thép, được xây dựng, bố trí xung quanh nhà kho vũ khí, vật liệu nổ có tác dụng ngăn chặn tác động của sóng nổ (sóng xung kích trong không khí) và mảnh văng đến các công trình lân cận khi xảy ra sự cố cháy, nổ nhà kho. Đối với nhà kho vũ khí, vật liệu nổ có tính chất cháy nổ phải thiết kế ụ chống nổ lấy bao quanh.

Ụ chống nổ lấy áp dụng kết cấu dạng cơ bản theo quy định trong quy chuẩn QCVN 11:2018/BQP. Chiều cao đỉnh ụ bằng chiều cao cốt trần nhà kho, chiều rộng đỉnh ụ 1 m, khoảng cách từ chân ụ đến tường nhà kho 5 m và khi có đường chạy qua khoảng cách từ 10 m đến 14 m [3].

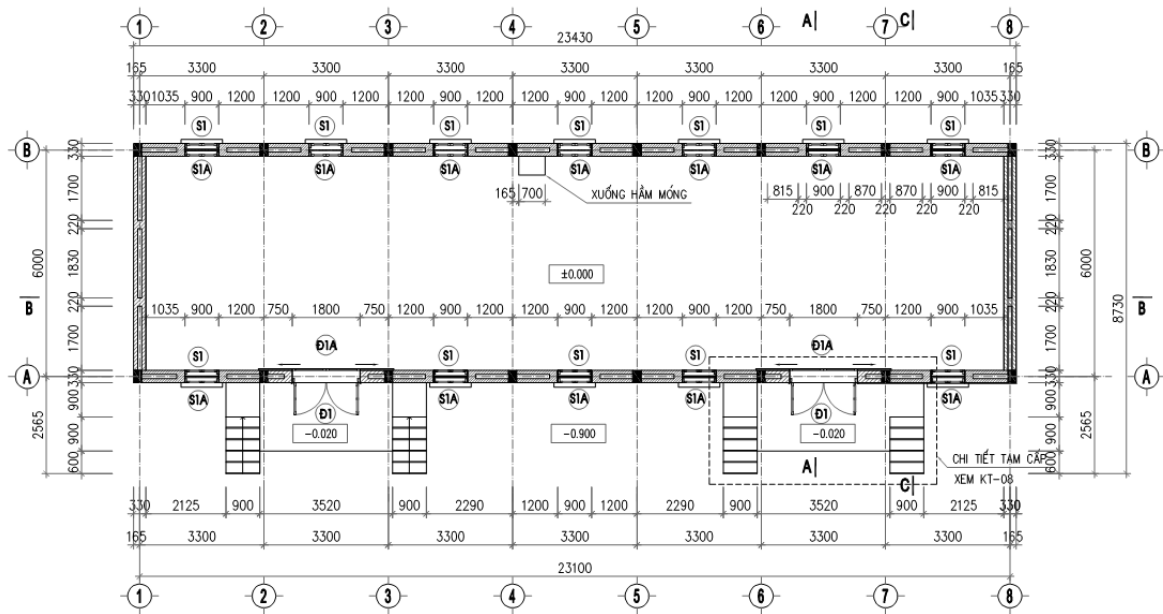


Hình 2. Ụ chống nổ lầy nhà kho có tính chất cháy nổ

Ụ chống nổ lầy đắp đất: Đất dùng để đắp ụ là đất dẻo hoặc đất rời (đất cấp 2, cấp 3). Vị trí lấy đất đắp ụ phải cách nhà kho lớn hơn 50m, những chỗ lấy đất nếu sâu hơn mặt bằng gần khu vực nhà kho thì sau khi thực hiện xong phải lấp đất, đầm nền, san phẳng, bảo đảm khu vực kho bằng phẳng, không đọng nước. Thân ụ sau khi đắp phải được đầm chặt, các mái ta luy phải được bạt, vổ, lèn chặt bảo đảm độ vững chắc, chống lún, chống sạt lở trong quá trình sử dụng. Bề mặt ụ phải trồng cỏ chống xói lở hoặc dùng công nghệ hoá lý để cứng hoá bề mặt ụ. Chân ụ phải có tường chắn đất thấp hơn 1m.

Bài toán trong bài báo này, tính khoảng cách an toàn chống nổ lầy cho cụm kho, mỗi kho chứa 100 tấn thuốc nổ TNT. Cụm kho được bố trí trên địa hình bằng phẳng, để giảm khoảng cách giữa các kho, bố trí ụ chống nổ lầy giữa các kho (cả 2 nhà kho đều đắp ụ) bằng bê tông.

Trên cơ sở quy mô, diện tích kho chứa thuốc nổ, tiến hành bố trí phương án mặt bằng như sau: Công trình kho chứa thuốc nổ được thiết kế gồm 1 tầng, 7 gian, bước gian 3,3 m và khẩu độ 6,0 m. Tổng chiều dài kho là 23,1 m. Diện tích xây dựng: 150 m². Chiều cao phòng thông thủy là 4,2 m.



Hình 3. Mặt bằng nhà kho chứa 100 tấn thuốc nổ TNT

2.1 Tính toán khoảng cách an toàn chống nổ lầy cho cụm kho chứa thuốc nổ theo QCVN 01:2019/BCT

$$R_{tr} = K \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot \sqrt[4]{D} \quad (5)$$

$K = 0,65$ (Đối với trường hợp cả hai nhà kho đều đắp ụ).

Kích thước hữu ích $\bar{D}$ lấy bằng chiều ngang của giá, $\bar{D} = 1,6\text{m}$.

Áp dụng công thức trên, ta tính toán được khoảng cách an toàn chống nổ lầy cho nhà kho

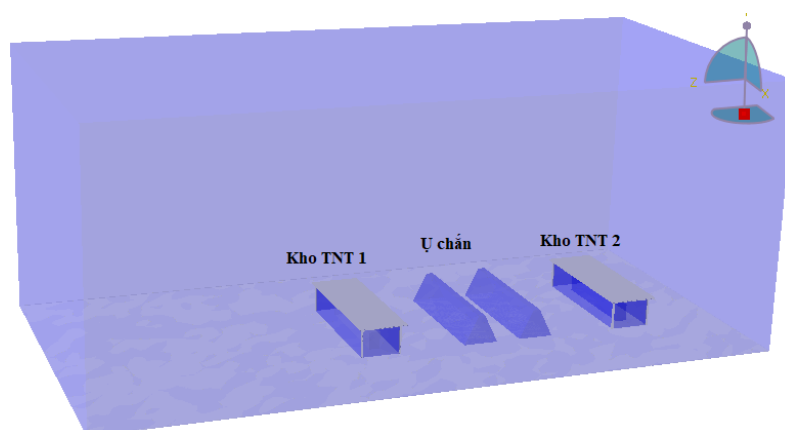
chứa 100 tấn thuốc nổ theo 3 phương án bố trí:

Trường hợp cả hai nhà kho đều đắp ụ: $R_{tr} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{1000000} \cdot \sqrt[4]{1,6} = 34\text{ (m)}$.

Như vậy tính theo QCVN 01:2019/BCT khoảng cách giữa 2 kho chứa 100 tấn thuốc nổ TNT sử dụng giải pháp ụ chống nổ lầy là 34m.

2.2 Mô phỏng giải pháp chống nổ lầy cụm kho chứa thuốc nổ theo QCVN 01:2019/BCT

2.2.1 Mô hình bài toán



Hình 4. Mô hình bài toán mô phỏng

2.2.2 Mô hình vật liệu

Để tính toán kết cấu chịu tác dụng của tải trọng nổ bằng các phần mềm ABAQUS [5] trước tiên cần phải mô hình hóa bài toán. Các tham số của các mô hình vật liệu dưới đây được sử dụng cho bài toán khảo sát của bài báo này. Các mô hình vật liệu này được xác nhận độ tin cậy trong các nghiên cứu [6,7].

a. *Thuốc nổ*: Thuốc nổ được sử dụng trong nghiên cứu này là loại thuốc nổ TNT. Khi bị kích nổ thuốc nổ chuyển hóa rất nhanh từ thể rắn sang khí, tương tác và truyền sang các vùng xung quanh một năng lượng nhất định [8,9]. Do sự giãn nở rất lớn trong quá trình nổ, nên vùng thuốc nổ và các phần tử của sản phẩm thuốc nổ được mô hình hóa và giải theo phương pháp hạt không lưới SPH nhằm tránh sự méo mó quá lớn của lưới dẫn đến lỗi trong quá trình

giải [10,11]. Mặt khác trong quá trình nổ các phần tử của sản phẩm nổ có thể sẽ được mở rộng ra các lớp bê tông xung quanh và ngược lại, lớp bê tông xung quanh có thể sẽ bị đẩy, thâm nhập vào vùng của sản phẩm nổ. Do đó thuốc nổ và vùng bê tông xung quanh cần phải được thiết lập để mô hình hóa và giải theo cùng một phương pháp dạng lưới Euler hoặc kỹ thuật hạt không lưới SPH, trong môi trường thiết lập đa vật liệu. Để mô hình hóa hiện tượng nổ và quá trình lan truyền áp lực sóng nổ, sử dụng phương trình trạng thái do Lee - Tarver và Jones - Wilkins - Lee đề xuất [12] với các tham số: $v = 1/\rho$ là thể tích riêng; ρ là khối lượng riêng thuốc nổ TNT; A, B, r_1, r_2, ω là các hằng số đoạn nhiệt được xác định từ thí nghiệm, v_n - tốc độ nổ; E_0 - năng lượng trên đơn vị thể tích; P_{CJ} - áp suất nổ. Giá trị cụ thể các tham số được liệt kê trong bảng 3.

Bảng 3. Tham số mô hình vật liệu TNT

ρ (kg/m ³)	v_n (m/s)	P_{CJ} (kPa)	A (kPa)	B (kPa)
1650	6930	$2,1 \times 10^7$	$3,7377 \times 10^8$	$3,73471 \times 10^6$
r_1	r_2	ω	v	E_0 (kJ/m ³)
4,15	0,9	0,35	1/1650	6×10^6

b. *Bê tông*: Sử dụng mô hình vật liệu Holmquist-Johnson-Cook (HJC), các tham số của mô hình HJC được xác định bằng phương pháp do Holmquist và cộng sự đề xuất [13]. Loại bê tông được sử dụng trong nghiên cứu này là bê tông B25 hiện chưa có các tham số cho mô hình HJC, do vậy

tác giả đã thực hiện các thí nghiệm nén đơn trục, thí nghiệm lặp cũng như các thí nghiệm ép chèn và nén ba trục bằng máy nén ba trục tại phòng thí nghiệm của Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt để đưa ra các tham số của mô hình HJC cho bê tông B25 (bảng 4).

Bảng 4. Các tham số mô hình HJC cho bê tông B25

ρ_0 (kg/m ³)	G (Pa)	A	B	C	N	$e_{f \min}$
2406	11,292 x10 ⁹	0,79	1,405	0,007	1,085	0,0016
T (Pa)	f_c (Pa)	$S_{\max}$	P_{crush} (Pa)	μ_{crush}	P_{lock} (Pa)	μ_{lock}
3,24 x10 ⁶	41,305 x10 ⁶	7	13,768 x10 ⁶	0,0007	1 x10 ⁹	0,08
D_1	D_2	K_1 (Pa)	K_2 (Pa)	K_3 (Pa)		
0,04	1,0	85x10 ⁹	-171 x10 ⁹	208 x10 ⁹		

c. *Cốt thép*: Sử dụng mô hình phá hủy do Johnson-Cook đề xuất, các tham số của phương trình trạng thái, mô hình bền, mô hình phá hủy của cốt thép (tương đương thép CII) được lấy theo tài liệu [14,15] cụ thể như bảng 5:

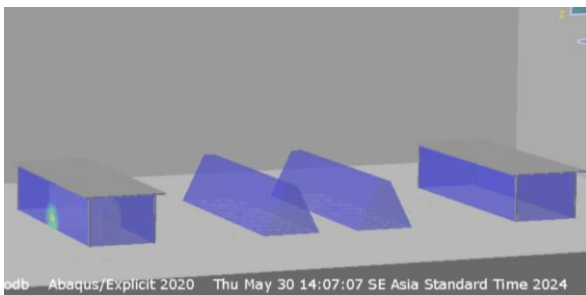
Bảng 5. Các tham số mô hình vật liệu thép

E (MPa)	ν	A (MPa)	B (MPa)	n	T_{melt} (K)	T_H (K)	m
200000	0,3	263	130	0,0915	1800	293,2	1
ρ (kg/m ³)	C	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
7850	0,017	1	0,05	3,44	2,12	0,002	0,61

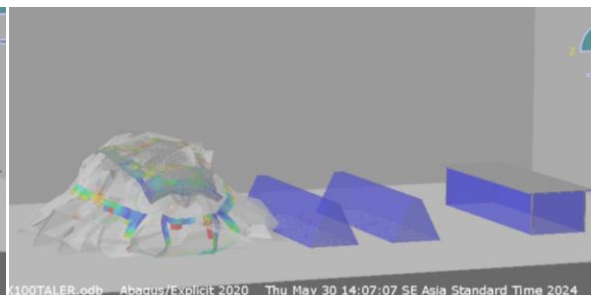
2.2.3 Kết quả mô phỏng số

Kết quả mô phỏng số cho thấy, ngay sau khi một kho thuốc nổ bất kỳ bị kích nổ, sóng nổ được hình thành

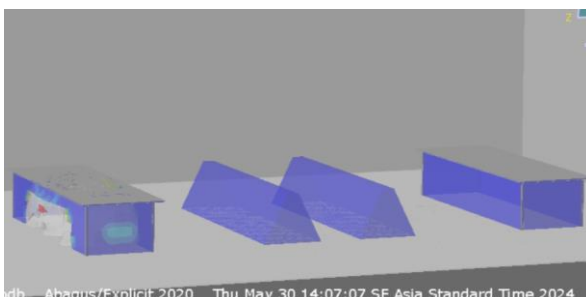
và lan truyền gây phá hoại kết cấu của nhà kho đó. Tiếp đó sóng xung kích được lan truyền trong không khí đến tác dụng phá hoại lên khối chắn (hình 5; 6).



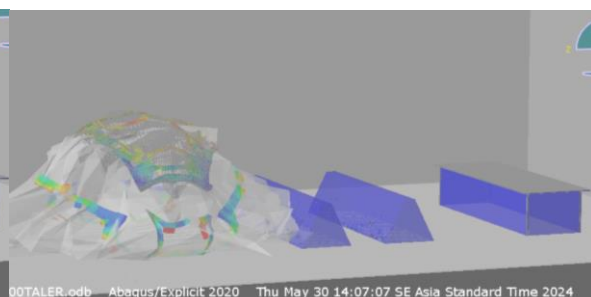
(a) Phá hủy kết cấu thời điểm $t = 0,0009s$



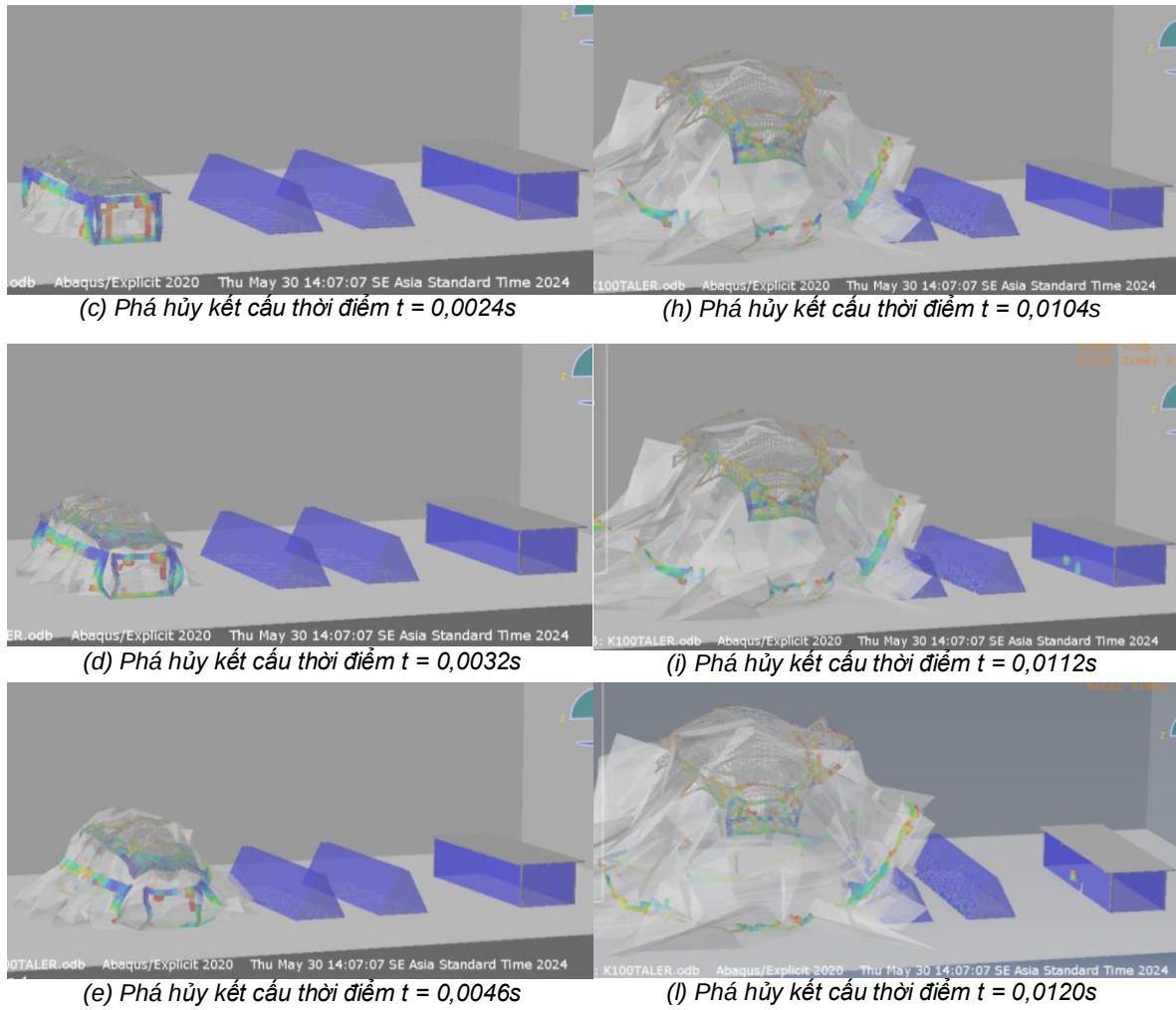
(f) Phá hủy kết cấu thời điểm $t = 0,0051s$



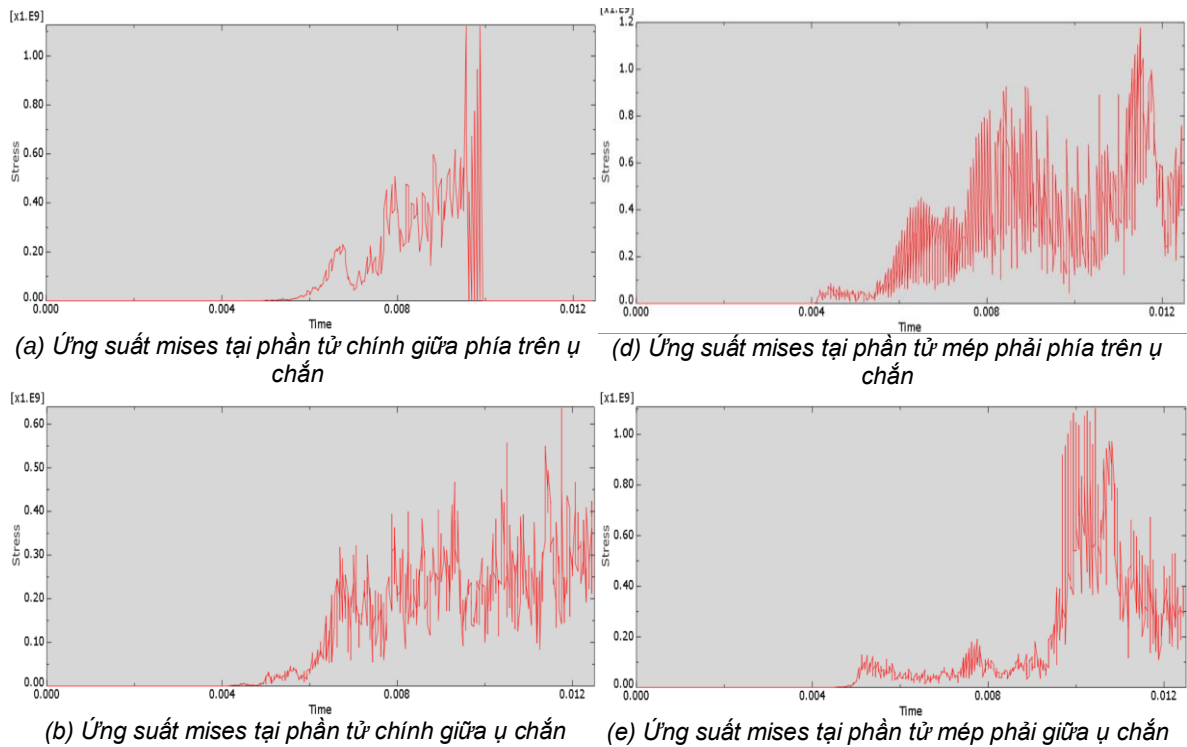
(b) Phá hủy kết cấu thời điểm $t = 0,0016s$

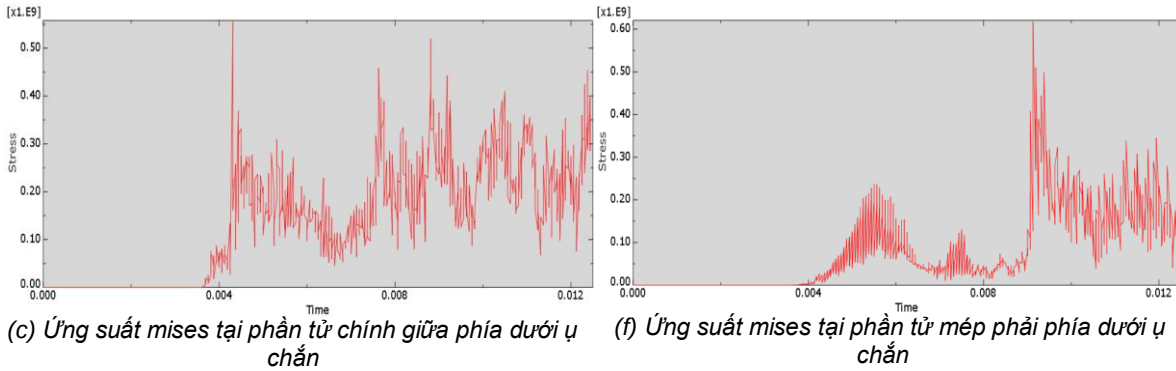


(g) Phá hủy kết cấu thời điểm $t = 0,0066s$



Hình 5. Hình ảnh lan truyền và phá hủy của sóng xung kích khi 1 kho thuốc nổ bị nổ





Hình 6. Ứng suất mises tại phần tử chính giữa và bên phải của ụ chắn (mặt tiếp xúc với kho bị nổ)

3. Kết quả nghiên cứu

Kết quả mô phỏng số cho thấy sau khi khối thuốc nổ 100 tấn bị kích nổ, dưới tác dụng của tải trọng nổ, cấu kiện bê tông (tường kho thuốc nổ) và cấu kiện bê tông cốt thép (mái, cột nhà kho thuốc nổ) bị phá hoại hoàn toàn, còn cấu kiện ụ chống nổ lây bằng bê tông chỉ bị phá hủy một phần. Nguyên nhân là do áp lực sóng nổ suy giảm theo khoảng cách và ụ chắn có độ dốc nhất định nên chỉ hấp thụ một phần năng lượng nổ, phần còn lại bị phản xạ lên phía trên.

Quá trình phá hoại cấu kiện kho thuốc nổ bắt đầu từ thời điểm 0,0009s và diễn ra rất nhanh, đến thời điểm 0,012s vùng phá hoại của cấu kiện đạt đến trạng thái lớn nhất (hình 5). Trên hình 6 hiển thị ứng suất mises tại một số phần tử nằm trên mặt ụ chống nổ lây (gần với kho thuốc nổ khi bị kích nổ). Kết quả cho thấy ứng suất mises tại phần tử chính giữa phía trên ụ chắn (hình 6a) tăng đến thời điểm 0,01s thì không còn ghi nhận giá trị, ngay lúc đó phần tử bị phá hoại. Đối với các vị trí khác tiến hành khảo sát (hình 6b đến 6f), kết quả ứng suất mises cho thấy các phần tử tại đó không bị phá hủy, ứng suất vẫn ghi nhận sau khi đạt đỉnh và về trạng thái mới.

Kết quả nhận được từ mô phỏng số cho thấy việc lựa chọn mô hình tính, mô hình vật liệu là hợp lý. Thông qua mô phỏng số cho ta thấy rõ cơ chế phá hoại kết cấu bê tông, bê tông cốt thép khi chịu tác dụng của tải trọng nổ theo từng thời điểm. Đối với bài toán xác định khoảng cách an toàn chống nổ lây cho cụm kho thuốc nổ thì khoảng cách giữa hai kho chứa thuốc nổ là 34 m (trường hợp cả hai kho đều có ụ chống nổ lây) tính theo công thức thực nghiệm cũng như thông qua mô phỏng là phù hợp,

đảm bảo an toàn chống nổ lây trong những tình huống bất khả kháng dẫn tới một nhà kho chứa thuốc nổ bị kích nổ.

4. Kết luận

Các kết quả thu được khẳng định tính hợp lý khi sử dụng mô hình vật liệu Holmquist-Johnson-Cook cho bê tông, mô hình vật liệu Johnson-Cook cho cốt thép, mô hình vật liệu nổ TNT trong phân tích kết cấu bê tông cốt thép chịu tác dụng nổ bằng phần mềm ABAQUS.

Từ kết quả phân tích trên có thể nhận thấy rằng, dưới tác dụng của tải trọng nổ ngay lập tức kết cấu của nhà kho chứa bị phá hoại, còn cấu kiện ụ chống nổ lây bằng bê tông chỉ bị phá hủy một phần trên bề mặt. Cấu tạo của ụ chắn làm suy giảm đáng kể khả năng phá hoại của sóng xung kích do vụ nổ gây ra, từ đó không truyền sóng trực tiếp đến các kho xung quanh vì vậy chống nổ lây cho các kho đó. Do vậy sử dụng ụ chắn là giải pháp cần thiết và rất hiệu quả chống nổ lây cho các kho chứa thuốc nổ.

Cũng từ kết quả đó tác giả nhận thấy giải pháp sử dụng ụ chống nổ lây với khoảng cách 34m cho các cụm kho chứa 100 tấn thuốc nổ TNT có hiệu quả tốt, đảm bảo an toàn chống nổ lây.

Các kết quả thu được có thể cung cấp thêm một số thông tin hữu ích cho các thiết kế có kể đến chấn sập đối với các công trình phục vụ cho an ninh Quốc phòng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Г. А. Демидов (1968), *Основы теории горения и взрыва*, ПБАИУ, Пенза.
- [2] Nguyễn Quang Trung, Lê Hồng Đức, Võ Thanh Tùng (1998), *Giáo trình công tác nổ tập 1*, NXB Học viện Kỹ

thuật Quân sự, Hà Nội.

- [3] QCVN 01:2019/BCT, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu huỷ vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ.*
- [4] QCVN 11:2018/BQP, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về kho bảo quản vũ khí, vật liệu nổ và công cụ hỗ trợ tiếp nhận, thu gom thuộc phạm vi Bộ Quốc phòng quản lý.*
- [5] ABAQUS Theory Manual, *revision 2020*, Pawtucket, Rhode Island, Mỹ, 2020.
- [6] Phan Thành Trung, Nguyễn Quốc Bảo, Vũ Đức Hiếu (2020), *Đánh giá sự phá hủy cấu kiện bê tông cốt thép dưới tác dụng tải trọng nổ tiếp xúc bằng mô phỏng số và thực nghiệm tại hiện trường*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng số 14(5V) tháng 11/2020, tr 180-196, Trường Đại học Xây dựng.
- [7] Phan Thành Trung, Nguyễn Quốc Bảo, Nguyễn Hữu Hà (2021), *Đánh giá sự phá hủy cấu kiện bê tông cốt thép dưới tác dụng tải trọng nổ gần bằng mô phỏng số và thực nghiệm tại hiện trường*, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng số 1/2021, tr 39-47, Viện Khoa học công nghệ xây dựng.
- [8] McGuire, W., (1974), *"Prevention of Progressive Collapse,"* Proceedings of the regional Conference on Tall Buildings, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- [9] Izzuddin, B.A. (2008). *"Simplified assessment of structural robustness for sudden component failures"*, COST Action TU0601, 1st Workshop on Robustness of Structures, ETH Zurich, Switzerland.
- [10] Monagan J. J (1988). *An introduction to SPH, Comput. Phys. Comm.* Vol. 48. P. 89-96.
- [11] Hayhurst CJ, Clegg RA (1997), *Cylindrically symmetric SPH simulations of hypervelocity impacts on thin plates.* Int J Impact Eng 1997, 337-48.
- [12] E. Lee, M. Finger, W. Collins (1973), *JWL equations of state coefficient for high explosives*, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, Calif, UCID-16189, Berkeley.
- [13] Holmquist TJ, Johnson GR and Cook WH (1993), *A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rates, and high pressures.* In: The 14th international symposium on ballis-tic, Quebec, Canada, 26–29 September, pp. 591-600. Arlington, VA: American Defense Preparedness Association.
- [14] Johnson G. R., Cook W. H. (1983), *A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures*, Proceedings of the 7th Inter-national Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands.
- [15] Johnson G. R., Cook W. H. (1985), *Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressure*, EngngFractMech, Vol. 21(1) pp. 31-48.