

Nghiên cứu ảnh hưởng hình dạng công trình đến tác dụng của sóng xung kích do nổ trên mặt đất

Research on the influence of the construction shape on the shock wave pressure caused by explosion on the Ground

> TS LÊ HẢI DƯƠNG*, TS NGÔ NGỌC THỦY, KS NGUYỄN VĂN HẢI

Học viện Kỹ thuật Quân sự, *Email: haiduongle9282@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng công trình đến tác dụng của sóng xung kích do nổ trên mặt đất thông qua việc khảo sát áp lực sóng xung tại các điểm trên bề mặt công trình ứng với ba loại hình dạng: trụ tròn, hộp chữ nhật, lăng trụ lục giác đều. Công cụ nghiên cứu là sử dụng phần mềm Ansys Autodyn3D để mô hình hóa và giải bài toán công trình đặt nổi chịu tác dụng của sóng xung kích phù hợp với điều kiện làm việc thực tế.

Từ khóa: Sóng xung kích; sóng phản xạ; công trình.

ABSTRACT

The article presents the results research on the influence of the construction's shape on the effect of the shock wave caused by the explosion on the ground through the investigation of the shock wave pressure at points on the structure's surface corresponding to three types of shapes: round cylinder, rectangular box, regular hexagonal prism. The research tool is to use Ansys Autodyn3D software, calculation model the problem in accordance with the actual working conditions of the fort.

Keywords: Shock waves; reflected waves; construction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các công trình đặt nổi, ngoài chịu tác dụng va chạm, tác dụng nổ còn chịu tác dụng của sóng xung kích do các vụ nổ xảy ra, cách công trình một khoảng nhất định. Việc tính toán áp lực của sóng xung kích ở các vị trí khác nhau trên bề mặt kết cấu công trình hiện nay dựa trên công thức thực nghiệm với các hệ số được tra trên các bảng có sẵn, giới hạn khối lượng thuốc nổ khác nhau, hình dạng công trình chủ yếu là hình chữ nhật và hình tròn, ở một số điểm cố định trên bề mặt kết cấu. Vì vậy, việc ứng dụng công nghệ

số mà điển hình là phần mềm Ansys Autodyn 3D để khảo sát nhiều mô hình bài toán khác nhau, nghiên cứu tác dụng của sóng xung kích tác dụng lên nhiều điểm khác nhau trên bề mặt kết cấu công trình là cần thiết và có ý nghĩa khoa học, thực tiễn đối với kết cấu công trình nói chung, công trình an ninh quốc phòng nói riêng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÁC ĐỊNH ÁP LỰC SÓNG XUNG KÍCH LÊN KẾT CẤU ĐẶT NỔI TRÊN MẶT ĐẤT

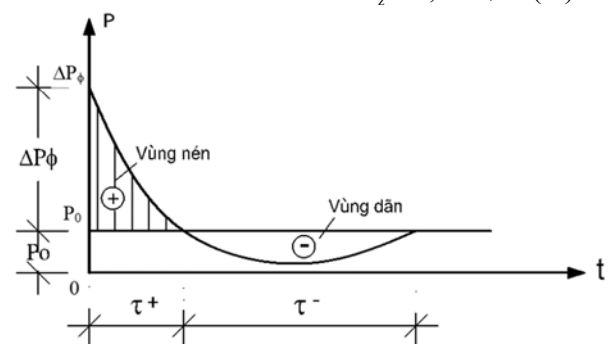
a. Áp lực sóng xung kích trong không khí

Ở khoảng cách lớn hơn $20r_z$, khi bom đạn nổ trên mặt đất, áp lực mặt sóng xung kích xác định theo công thức [1][2][5][7]:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{106\sqrt{C}}{R} + \frac{430\sqrt{C^2}}{R^2} + \frac{1400C}{R^3} \quad (\text{kPa}) \quad (1)$$

trong đó:

- ΔP_{ϕ} là áp lực mặt sóng xung kích (kPa);
- C là khối lượng thuốc nổ tính theo chất nổ TNT (kg);
- R là khoảng cách từ tâm khối thuốc nổ đến điểm tính toán (m);
- r_z là bán kính lượng nổ hiệu dụng: $r_z = 0,053\sqrt{C}$ (m).



Hình 1. Biểu đồ áp lực sóng xung kích

Sóng xung kích lan truyền trên mặt đất, gặp công trình đặt nổi trên mặt đất, các chương ngại thường được xây dựng bằng bê tông cốt thép, là chương ngại cứng bất động có kích thước hữu hạn. Theo hướng đến, sóng xung kích lần lượt tác dụng lên tường trước, các tường bên, nóc, và tường sau của công trình. Áp lực tác dụng lên các điểm, các vị trí khác nhau là khác nhau cả về giá trị và quy luật.

b. Áp lực sóng xung kích lên chương ngại đặt nổi

Quá trình sóng xung kích tác dụng lên chương ngại có kích thước hữu hạn được chia thành 3 giai đoạn:

- Giai đoạn 1: Sóng xung kích bắt đầu tương tác vào tường trước. Giai đoạn này chỉ tường trước chịu áp lực của sóng xung kích, là áp lực sóng phản xạ thẳng góc ΔP_{fx} [1][7][8].

$$\Delta P_{fx} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 720} \quad (\text{kPa}) \quad (2)$$

- Giai đoạn 2: Sóng xung kích chảy bao lên chương ngại. Giai đoạn này, áp lực lên tường trước là áp lực chảy bao ΔP_{cb} , áp lực tại tường bên và trên nóc theo quy luật sóng tới, giảm dần theo chiều từ tường trước đến tường sau. Giá trị áp lực lên tường trước và tường bên phụ vào góc nghiêng giữa bề mặt tường và phương của sóng tới. Trường hợp bề mặt tường song song với phương của sóng tới, áp lực phần nửa sau của tường bên và nóc bằng áp lực sóng đến ΔP_{ϕ} [1][2].

$$\Delta P_{cb} = \Delta P_t + (1 + \varepsilon) \frac{2,5\Delta P_t^2}{\Delta P_t + 700} \quad (\text{kPa}) \quad (3)$$

trong đó:

- ΔP_t là giá trị áp lực, tính theo công thức:

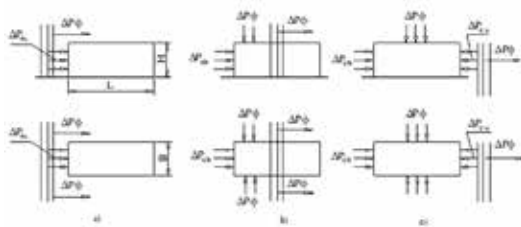
$$\Delta P_t = \Delta P_{\phi} \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau} \right);$$

- Δt là thời gian để bắt đầu hình thành quy luật chảy bao ở tường trước (s);

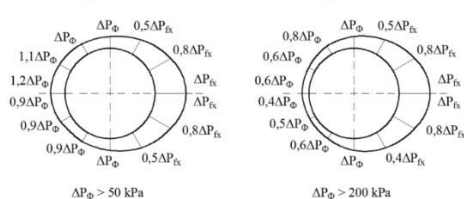
- ε là hệ số phụ thuộc trị số Ma-kha.

Giai đoạn 3: Sóng xung kích bao phủ lên toàn bộ chương ngại. Giai đoạn này, tại tường trước tiếp tục chịu áp lực theo quy luật chảy bao. Tường bên và nóc chịu áp lực theo luật của sóng tới. Sóng xung kích sau khi vượt qua chiều dài công trình và chảy vòng vào giữa tường sau, áp lực sóng xung kích lên tường sau ΔP_{cv} theo quy luật của sóng nén. Trong mọi bài toán, giá trị áp lực lên tường sau tính theo công thức (4) [1][7][8].

$$\Delta P_{cv} = \frac{2}{3} \Delta P_{\phi} \quad (\text{kPa}) \quad (4)$$



Hình 2. Quá trình tương tác của sóng xung kích lên công trình



Hình 3. Phân bố áp lực của sóng xung kích lên bề mặt công trình hình trụ tròn

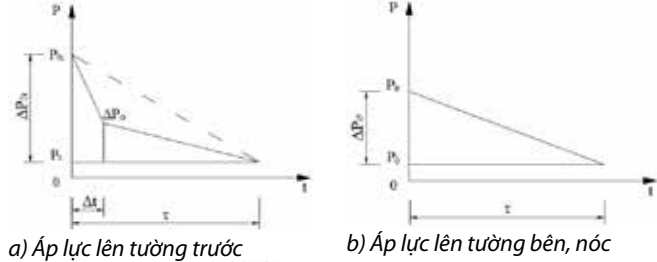
a) Bắt đầu tương tác b) Sóng xung kích chảy bao lên công trình c) Sóng xung kích bao phủ công trình

c. Áp lực sóng xung kích lên công trình có hình dạng khác nhau

Công trình có dạng hình trụ tròn: Các nghiên cứu lý thuyết cũng như các thí nghiệm hiện trường trên mô hình thực đã xây

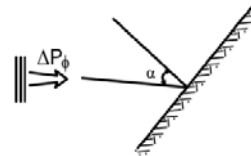
dựng được biểu đồ áp lực sóng xung kích lên bề mặt công trình có dạng hình trụ tròn (hình 3) tương ứng với các giá trị áp lực của sóng tới [7][8].

Công trình có dạng hình hộp chữ nhật: Tương tự đối với công trình có hình trụ tròn, các nghiên cứu lý thuyết cũng như các thí nghiệm hiện trường trên mô hình thực đã xây dựng được biểu đồ áp lực sóng xung kích lên bề mặt công trình có dạng hình hộp chữ nhật (hình 4) tương ứng với các giá trị áp lực của sóng tới [7][8].



Hình 4. Phân bố áp lực của sóng xung kích lên bề mặt công trình hình hộp chữ nhật

Công trình có dạng hình lăng trụ lục giác đều: Áp lực lên tường trước, nóc và tường sau xác định theo công trình có dạng hình hộp chữ nhật. [1][2]:



Hình 5. Áp lực tác dụng lên tường nghiêng

$$\Delta P_{tn} = K_{fx} \cdot \Delta P_{\phi} \quad (\text{kPa}) \quad (5)$$

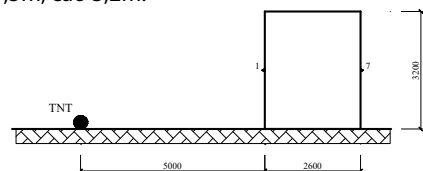
$$\text{Khi } \alpha \leq 40^\circ \quad K_{fx} = 2 + \frac{6\Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\phi} + 720}$$

- Khi $40^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

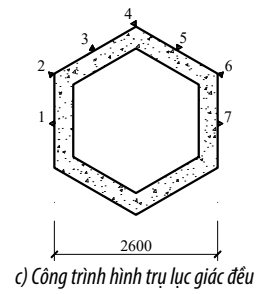
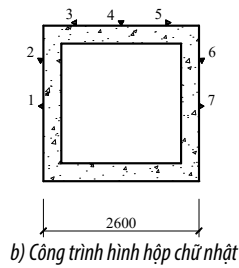
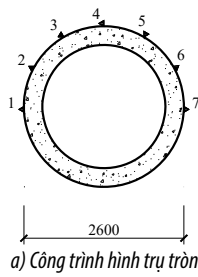
$$K_{fx} = \frac{K_{fx(\alpha \leq 40^\circ)} \cdot (90^\circ - \alpha) + (\alpha - 40^\circ)}{50^\circ}$$

3. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS AUTODYN3D XÁC ĐỊNH ÁP LỰC LÊN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH.

Bài toán: Xác định áp lực lên bề mặt kết cấu các công trình khi chịu tác dụng của sóng xung kích do lượng thuốc nổ 3,865 kgTNT nổ trên mặt đất, cách tường trước công trình 5m. Công trình hình trụ tròn có đường kính 2,6m, cao 3,2m; công trình hình hộp chữ nhật dài 2,6m, rộng 2,6m, cao 3,2m; công trình hình trụ lục giác đều có cạnh 1,5m, cao 3,2m.

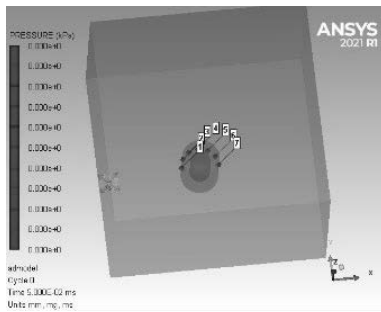


Hình 6. Mô hình bài toán

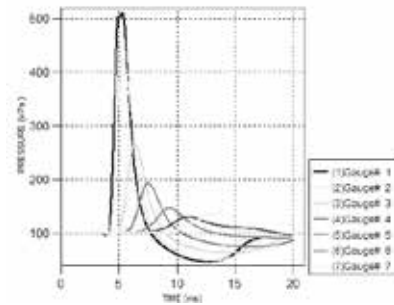


Hình 7. Mặt bằng các điểm đo áp lực trên công trình

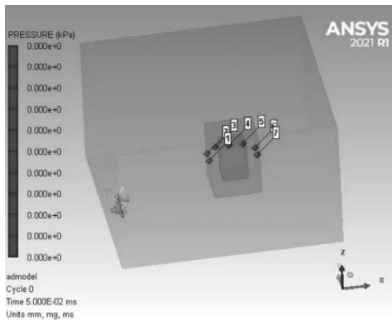
Kết quả: Ứng dụng phần mềm Ansys Autodyn3D phân tích bài toán, kết quả nhận được áp lực sóng xung kích lên bề mặt kết cấu công trình tại các điểm đo như sau:



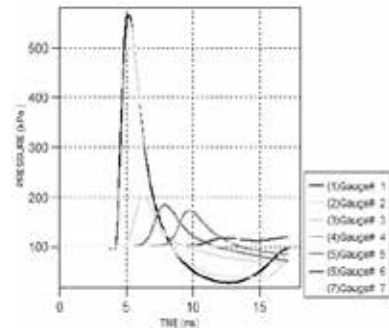
Hình 8. Mô phỏng công trình hình trụ tròn



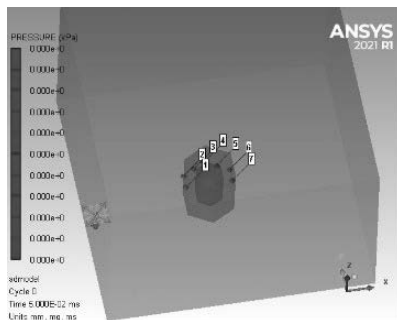
Hình 9. Biểu đồ áp lực tại các điểm trên công trình hình trụ tròn



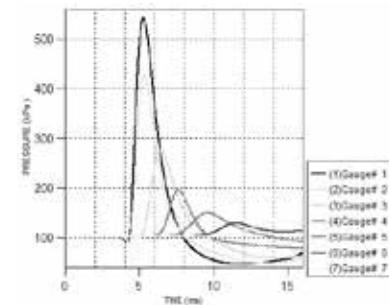
Hình 10. Mô phỏng công trình hình hộp chữ nhật



Hình 11. Biểu đồ áp lực tại các điểm trên công trình hình hộp chữ nhật



Hình 12. Mô phỏng công trình hình trụ lục giác đều



Hình 13. Biểu đồ áp lực tại các điểm trên công trình hình trụ lục giác đều

So sánh kết quả tính toán theo công thức thực nghiệm (1), (2), (4) và (5) với mô phỏng số, giá trị áp lực lớn nhất tại các điểm khảo sát (Bảng 2). Trong đó:

- Đối với công trình dạng hình tròn: áp lực lên các điểm tính theo biểu đồ phân bố áp lực (Hình 3);
- Đối với công trình dạng hình hộp chữ nhật: điểm 1, 2 được

tính theo công thức (2), điểm 3, 4, 5 được tính theo công thức (1), điểm 6, 7 được tính theo công thức (4);

- Đối với công trình dạng hình lăng trụ lục giác đều: điểm 1 được tính theo công thức (2), điểm 2, 3 được tính theo công thức (5), điểm 4 được tính theo công thức (1), điểm 5, 6, 7 được tính theo công thức (4)

Bảng 1. Bảng tổng hợp giá trị áp lực lớn nhất tại các điểm đo

Điểm đo	Giá trị áp lực lớn nhất (kPa)			So sánh (%)	
	Công trình hình trụ tròn	Công trình hình hộp chữ nhật	Công trình hình lăng trụ lục giác đều		
(1)	(2)	(3)	(4)	(3) với (2)	(4) với (2)
1	510,10	564,70	541,57	+ 10,07	+ 6,17
2	423,74	552,38	426,44	+ 30,36	+ 0,64
3	265,39	199,59	275,14	- 24,79	+ 3,67
4	192,14	184,42	195,79	- 4,02	+ 1,90
5	146,85	172,33	149,78	+ 17,35	+ 2,00
6	129,81	119,59	129,03	- 7,87	- 0,60
7	134,79	131,65	131,98	- 2,33	- 2,08

Bảng 2. So sánh giá trị áp lực lớn nhất (kPa) giữa tính toán theo công thức thực nghiệm và mô phỏng số

Điểm đo	Công trình hình trụ tròn			Công trình hình hộp chữ nhật			Công trình hình lăng trụ lục giác đều		
	Tính toán	Mô phỏng	Chênh (%)	Tính toán	Mô phỏng	Chênh (%)	Tính toán	Mô phỏng	Chênh (%)
1	400,16	510,10	+ 21,55	400,16	564,70	+ 29,14	400,16	541,57	+ 26,11
2	340,40	423,74	+ 19,67	400,16	552,38	+ 27,56	400,16	426,44	+ 6,16
3	250,75	265,39	+ 5,52	230,34	199,59	- 15,41	281,95	275,14	- 2,48
4	208,84	192,14	- 8,69	208,84	184,42	- 13,24	274,42	195,79	- 28,65
5	187,34	146,85	- 27,57	208,84	172,33	- 21,19	187,34	149,78	- 25,08
6	165,84	129,81	- 27,75	165,84	119,59	- 38,87	165,84	129,03	- 28,52
7	165,84	134,79	- 23,03	165,84	131,65	- 25,97	165,84	131,98	- 25,66

Nhận xét:

Kết quả phân tích cho thấy: Áp lực tại các vị trí khảo sát phù hợp với quy luật phân bố áp lực sóng xung kích lên công trình đặt nổi, tường trước chịu áp lực theo quy luật sóng phản xạ, tường bên chịu áp lực theo quy luật sóng tới, tường sau chịu áp lực theo quy luật sóng nén. Cụ thể cho từng dạng công trình như sau:

Công trình hình trụ tròn: điểm 1 chịu áp lực phản xạ chính diện nên có giá trị lớn nhất; điểm 2 - 3 chịu áp lực phản xạ nghiêng và khoảng cách nhận áp lực lớn hơn điểm 1 nên áp lực sóng nhỏ hơn điểm 1; điểm 4 chịu áp lực sóng tới; điểm 5, 6, 7 chịu áp lực theo quy luật sóng nén.

Công trình hình hộp chữ nhật: điểm 1, 2 chịu áp lực phản xạ chính diện nên có giá trị lớn nhất; điểm 3, 4, 5 chịu áp lực sóng tới; điểm 6, 7 chịu áp lực theo quy luật sóng nén.

Công trình hình lăng trụ lục giác đều: điểm 1, 2 chịu áp lực phản xạ chính diện nên có giá trị lớn nhất; điểm 3 chịu áp lực sóng phản xạ nghiêng và có khoảng cách nhận sóng lớn hơn các điểm 1, 2 nên áp lực nhỏ hơn các điểm 1, 2; điểm 4 chịu áp lực của sóng tới; điểm 5, 6, 7 chịu áp lực theo quy luật sóng nén.

Giữa các mô hình công trình, có sự chênh lệch khá lớn về áp lực tại các điểm tiếp nhận trực tiếp của sóng tới, đặc biệt ở điểm số 1 là điểm có sự phản xạ chính diện. Các điểm trên bề mặt phía sau công trình, chênh lệch giá trị áp lực là nhỏ do các điểm phía sau tiếp nhận áp lực chảy vòng, có giá trị xấp xỉ bằng 70% áp lực sóng tới.

Kết cấu công trình dạng trụ tròn làm giảm áp lực phản xạ chính diện nhưng áp lực lên tường bên lại cao hơn hai mô hình còn lại. Kết cấu hình hộp chữ nhật có áp lực phản xạ chính diện lớn nhất nhưng áp lực ở tường bên lại nhỏ nhất. Do ảnh hưởng của góc nghiêng và diện tích bề mặt tiếp nhận sóng xung kích làm thay đổi giá trị áp lực phản xạ.

3. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu, nhóm tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Áp lực lên bề mặt kết cấu công trình đặt nổi phản ánh đúng quy luật của sóng xung kích và tác dụng của sóng xung kích lên chướng ngại cứng có kích thước hữu hạn đặt nổi trên mặt đất.

- Có sự ảnh hưởng rõ rệt của hình dạng công trình đến tác dụng của sóng xung kích lên bề mặt kết cấu. Hình dạng trụ tròn có lợi về mặt giảm áp lực phản xạ chính diện do phần lớn diện tích không chịu tác dụng phản xạ chính diện của sóng tới, nhưng tăng áp lực lên tường bên do phần nhiều diện tích tường bên tiếp nhận sóng tới với góc chạm nhỏ. Hình dạng hộp chữ nhật bất lợi về áp lực phản xạ chính diện nhưng giảm áp lực lên tường bên.

- Khi tính toán, thiết kế công trình đặt nổi chịu tác dụng của tải trọng sóng xung kích, tùy theo công năng sử dụng và cấu tạo kiến trúc, có thể ưu tiên chọn hình dạng bên ngoài để có lợi về mặt tải áp lực hoặc gia cường kết cấu ở những vị trí cụ thể theo phương tiếp nhận tải trọng do sóng xung kích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trí Tá, Đặng Văn Đích, Vũ Đình Lợi (2008), *Giáo trình công sự tập 1*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [2] Vũ Đình Lợi (2002), *Tập bài giảng truyền sóng nổ và tải trọng nổ*, Học viện Kỹ thuật Quân sự
- [3] AUTODYN help (2009), ANSYS WORKBENCH 14.5.
- [4] B, M, Dobratz; P, C, Crawford (1985), "LLNL Explosives Handbook: Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants", Ucl-52997, Retrieved 31 August 2018.
- [5] Bulson P.S., (2003), *Explosive loading of engineering structures*, E&FN SPON an imprint of Chapman & Hall.
- [6] Баум Ф.А., и Орленко Л. П, (2002), *Физика взрыва том 1*, Москва.
- [7] Б.С. Расторгуев, А.И. Плотников, Д.З. Хуснутдинов, (2007), *Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях*, Москва: Издательство АСВ.
- [8] Н.Н. Белов, Д.Г. Копаница, О.Г. Кумпяк, Н.Т. Югов, (2004), *Расчет железобетонных конструкций на взрывные и ударные нагрузки*, Нортхэмптон - Томск 2004.