

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ÁP SUẤT SÓNG XUNG KÍCH CỦA VỤ NỔ DƯỚI NƯỚC KHI CÓ VẬT CẢN

Nguyễn Gia Thắng^{1*}, Trần Bá Tấn¹, Nguyễn Trường Thanh²

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán áp suất sóng xung kích của vụ nổ dưới nước khi có vật cản. Kết quả tính toán cho phép nghiên cứu sự ảnh hưởng khác nhau của các loại vật cản dựa trên quy luật về áp suất trên bề mặt sóng xung kích khi lan truyền trong môi trường nước. Phương pháp tính toán có ứng dụng phần mềm mô phỏng Ansys Autodyn 2D. Các kết quả chính của bài báo là quy luật áp suất của sóng xung kích theo thời gian ở các điểm khảo sát khi vụ nổ khối thuốc nổ TNT trong môi trường nước. Ngoài ra bài báo cũng trình bày các bước cơ bản để giải bài toán nổ bằng ứng dụng phần mềm mô phỏng và thể hiện các quá trình lan truyền của sóng xung kích trong môi trường nước.

Từ khóa: Sóng xung kích, Autodyn, Nổ trong nước.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu hiện tượng nổ trong môi trường nước có vai trò hết sức quan trọng đối với công tác kỹ thuật quân sự đặc biệt là với hải quân. Nổ dưới biển là mối đe dọa lớn nhất đối với các tàu ngầm, tàu mặt nước cũng như các công trình quân sự và các trang thiết bị hoạt động dưới nước khác. Khi vụ nổ xảy ra, sản phẩm nổ và sóng xung kích từ vụ nổ là tác nhân phá hoại chính của vụ nổ. Trong đó, sản phẩm nổ chỉ có tác dụng trong một phạm vi hẹp xung quanh khối thuốc nổ còn sóng xung kích có tác dụng phá hoại ở một khoảng cách lớn hơn do nó có thể lan truyền trong môi trường nước. Trên thế giới công việc nghiên cứu sức phá hoại của sóng xung kích trong môi trường nước đã được quan tâm từ rất lâu và người ta đã thu được nhiều kết quả phục vụ cho công tác phát triển các loại phương tiện chiến đấu ngầm dưới biển cũng như các phương tiện nổi trên mặt nước [1,2,7]. Nhưng do đặc thù là các lĩnh vực quân sự nên các nghiên cứu này thường ít được công bố rộng rãi. Với sự hiện đại của quân đội ta thì việc nghiên cứu nổ dưới nước nhằm đáp ứng các mục đích chiến đấu bảo vệ biển đảo đang là đòi hỏi vô cùng cấp thiết. Từ yêu cầu thực tiễn đó, nhóm tác giả đã tìm tòi và nghiên cứu về hiện tượng nổ trong môi trường nước làm cơ sở cho công tác thiết kế, chế tạo và khai thác sử dụng các trang thiết bị hoạt động trong môi trường nước cũng như nâng cao khả năng chiến đấu của bộ đội.

Hiện tượng nổ là quá trình biến đổi phức tạp và ở cường độ cao về tốc độ của quá trình, nhiệt độ và áp suất của vụ nổ. Các nghiên cứu trước đây với các vụ nổ trong môi trường nước thường sử dụng phương pháp thực nghiệm kết hợp với lý thuyết để xác định các đặc trưng của vụ nổ [1,2]. Tuy nhiên việc tính toán chỉ áp dụng cho một vài thông số hoặc thời điểm cụ thể của quá trình lan truyền sóng xung kích. Ngày nay với sự phát triển của khoa học máy tính và phần mềm việc ứng dụng các phương pháp mô phỏng trong tính toán các hiện tượng nổ đang được quan tâm ứng dụng [5÷7]. Phương pháp mô phỏng có nhiều ưu điểm là phản ánh hiện tượng một cách trực quan và có thể tính toán được các quá trình phức tạp mà các phương pháp tính khác khó thực hiện được. Trên cơ sở đó nhóm tác giả đã ứng

dụng phần mềm mô phỏng Ansys Autodyn 2D để tính toán vụ nổ trong môi trường nước có tính đến ảnh hưởng của các vật cản khác nhau.

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả tập trung đi sâu tính toán giá trị áp suất trên bề mặt sóng xung kích khi lan truyền trong môi trường nước. Bài báo có bố cục 5 phần trong đó mục 2 trình bày phương pháp xây dựng mô hình bài toán trên phần mềm Ansys Autodyn 2D, mục 3 trình bày một ví dụ về vụ nổ trong môi trường nước với chất nổ TNT, mục 4 thể hiện các kết quả chính của phương pháp và đánh giá.

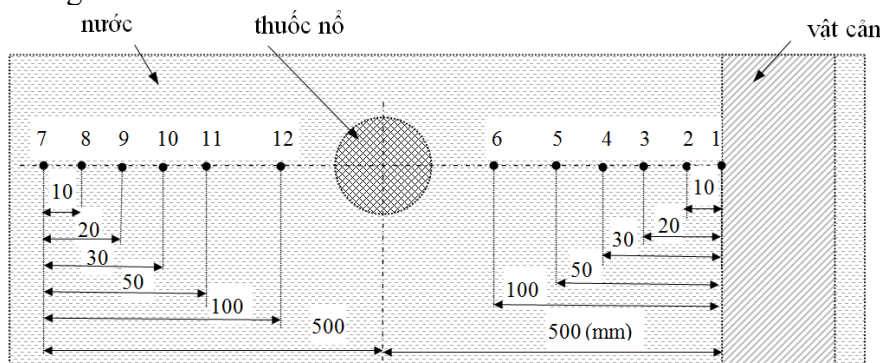
2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN VÀ CÁC BƯỚC GIẢI TRÊN PHẦN MỀM ANSYS AUTODYN 2D

2.1. Mô hình bài toán

Bài toán được xây dựng trên mô hình hiện tượng nổ trong môi trường nước (hình 1) với các giả thiết:

- Khối thuốc nổ hình cầu
- Môi trường nước không giới hạn mặt đáy, mặt thoáng mà chỉ chịu ảnh hưởng của vật cản ở một phía với khoảng cách nhất định đến tâm khối thuốc.
- Vật cản có độ dày đủ lớn để hấp thụ và phản xạ hoàn toàn sóng xung kích.

Các điểm xác định giá trị của áp suất trên bề mặt sóng xung kích được xác định trên bề mặt vật cản và ở vị trí tương ứng trong môi trường nước phía đối diện với vật cản. Vị trí các điểm được lấy nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của góc tới trên sóng xung kích trên bề mặt vật cản đối với sự phản xạ của sóng xung kích. Bài toán được giải với vật cản là tấm thép tượng trưng cho bề mặt của các trang thiết bị hoạt động trong môi trường nước và vật cản là khối bê tông tượng trưng cho kết cấu công trình ngầm dưới nước.



Hình 1. Mô hình bài toán và các vị trí xuất kết quả.

2.2. Các bước giải bài toán

Bước 1: Chọn vật liệu

Chọn vật liệu theo yêu cầu và phương trình trạng thái phù hợp.

Bước 2: Xây dựng mô hình chịu tải của kết cấu

Bố trí kết cấu chịu tải, xác định phương pháp chia lưới phần tử cho môi trường, chất nổ và kết cấu.

Bước 3: Bổ xung điều kiện biên cho bài toán

Phần biên giới hạn của môi trường phải được đặt điều kiện biên để nó phản ánh gần đúng với tính chất vô hạn của môi trường.

Bước 4: Xác định điều kiện tương tác giữa các môi trường

Quá trình giải bài toán có sự tương tác giữa các môi trường sản phẩm nổ-nước, nước-vật cản là các môi trường khác nhau về bản chất nên phải lựa chọn điều kiện tương tác phù hợp để có thể liên kết được các phần tử đảm bảo tương trình tính toán không bị lỗi về tính liên tục của các phần tử cũng như sai số về bảo toàn năng lượng trong giới hạn cho phép.

Bước 5: Xác định điểm kích nổ cho khối thuốc

Chọn phần tử đầu tiên thực hiện quá trình biến đổi nổ.

Bước 6: Điều khiển quá trình tính toán

Điều khiển thời gian tính toán cũng như các bước thời gian để đảm bảo quá trình nổ đã diễn ra hoàn toàn và sóng xung kích đã lan truyền đến các vật cản.

Bước 7: Xác định việc hiển thị kết quả bài toán

3. TÍNH TOÁN BẰNG PHẦN MỀM ANSYS AUTODYN 2D

3.1. Mô hình vật liệu

Trong bài báo này nhóm tác giả tính toán với vật liệu nổ là TNT, thép Steel 1006 [4] và bê tông là Conc-35MPa[4].

3.1.1. Mô hình vật liệu đối với chất nổ TNT

Phương trình trạng thái của sản phẩm nổ JWL [4,5,7]. Đây là phương trình bán thực nghiệm được John – William – Lee đề xuất và được ứng dụng khá rộng rãi trong mô phỏng nổ.

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

Trong đó: P(MPa) – áp suất của sản phẩm nổ; ω , A, B, R_1 và R_2 là các hằng số thực nghiệm có giá trị được thể hiện trong bảng 1, được lựa chọn theo thư viện của phần mềm [4], $V = \frac{\rho_0}{\rho}$ là tỉ số mật độ ban đầu với mật độ ở thời điểm tính toán, E (kJ.m^{-3}) là năng lượng riêng của chất nổ.

Bảng 1. Các thông số cho phương trình trạng thái sản phẩm nổ TNT [4].

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Mật độ, ρ_0	1630	kg.m^{-3}
A	373.77×10^6	kPa
B	3.7471×10^6	kPa
R_1	4.15	-
R_2	0.9	-
ω	0.35	-
Năng lượng riêng E	6.0×10^6	kJ.m^{-3}

3.1.2. Mô hình vật liệu đối với nước

Phương trình trạng thái [4]

- Khi chịu nén: $\mu \geq 0$ thì $P = A_1\mu + A_2\mu^2 + A_3\mu^3 + (B_0 + B_1\mu)\rho_0E$ (2)

- Khi chịu kéo: $\mu < 0$ thì $P = T_1\mu + T_2\mu^2 + B_0\rho_0E$ (3)

Trong đó: P(MPa)- áp suất; E(J)- Nội năng ban đầu trên một đơn vị khối lượng, giá trị của E được phần mềm tính toán dựa trên nhiệt độ đầu vào của môi trường, thường mặc định ở 293⁰K. A₁, A₂, A₃, B₀, B₁, T₁, T₂- là các hằng số thực nghiệm được lựa chọn theo [5] và được thể hiện trong bảng 2.

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 \quad (4)$$

Trong đó: ρ_0 , ρ - Mật độ của nước ở thời điểm ban đầu và lúc chịu tải nén hoặc kéo.

Bảng 2. Các thông số chính của nước [5].

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Khối lượng riêng	1000	kg/m ³
Các hệ số cho phương trình trạng thái		
Mô đun A ₁	2,2	GPa
A ₂	9,54	GPa
A ₃	14,57	GPa
B ₀	0,28	
B ₁	0,28	
T ₁	2,2	GPa
T ₂	0	GPa

3.1.3. Mô hình vật liệu của thép và bê tông

Các đặc trưng vật liệu của thép và bê tông được chọn trong thư viện của Ansys Autodyn, với thép là vật liệu Steel 1006 (Bảng 3), với bê-tông là Conc-35MPa (Bảng 4).

Bảng 3. Các thông số chính của thép [4].

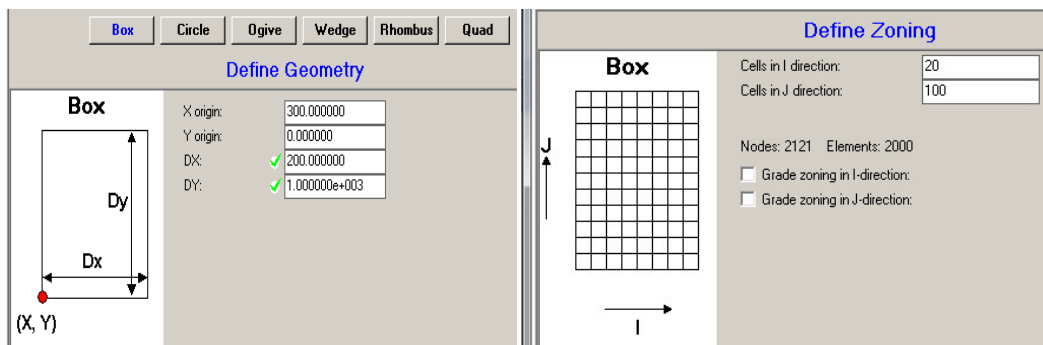
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Khối lượng riêng	7,83	Tấn/m ³
Mô đun đàn hồi kéo	159	GPa
Mô đun đàn hồi trượt	77	GPa
Giới hạn chảy	360	MPa
Giới hạn bền	450	MPa
Hệ số Poisson	0,33	
Độ giãn dài khi đứt	0,21	
Độ dai va đập	75	J / cm ²

Bảng 4. Các thông số chính của bê-tông [5].

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Khối lượng riêng	2,750	Tấn/m ³
Các hệ số cho phương trình trạng thái		
Mô đun A ₁	35,27	GPa
A ₂	39,58	GPa
A ₃	9,040	MPa
B ₀	1,220	
B ₁	1,220	
T ₁	35,27	GPa
T ₂	0	GPa

3.2 Phương pháp chia lưới phần tử hữu hạn

Lưới phần tử của các cấu trúc nước và thuốc nổ được thể hiện trên hệ trục tọa độ phẳng 2D đơn vị của các trục là mm. Phương pháp chia lưới với phần tử vật cản được thể hiện ở hình 2, với phần tử nước và thuốc nổ các thông số lưới theo bảng 5. Với phần tử thuốc nổ được chèn vào nước theo điều kiện Fill[4].



Hình 2. Các thông số lưới phần tử vật cản.

Bảng 5. Các thông số của lưới phần tử môi trường nước và TNT.

Thông số	Giá trị		Đơn vị
	Môi trường	Chất nổ	
Gốc tọa độ X	-800	-200	mm
Gốc tọa độ Y	0	0	mm
DX	1400		mm
DY	1000		mm
Phần tử I	140		
Phần tử J	100		
Số phần tử	14000		
Số nút	14241		
Bán kính		100	mm

4. CÁC KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Bằng phương pháp mô phỏng, sử dụng phần mềm Autodyn 2D để tính toán các quá trình diễn ra của hiện tượng nổ, nhóm tác giả đã thu được một số kết quả chính đó là quy luật của áp suất sóng xung kích theo thời gian tại các điểm trích xuất và được thể hiện ở các đồ thị (hình 5, 6). Ngoài ra phần mềm cho phép quan sát được quá trình lan truyền của sóng xung kích vào môi trường và tác động lên vật cản (hình 3,4).

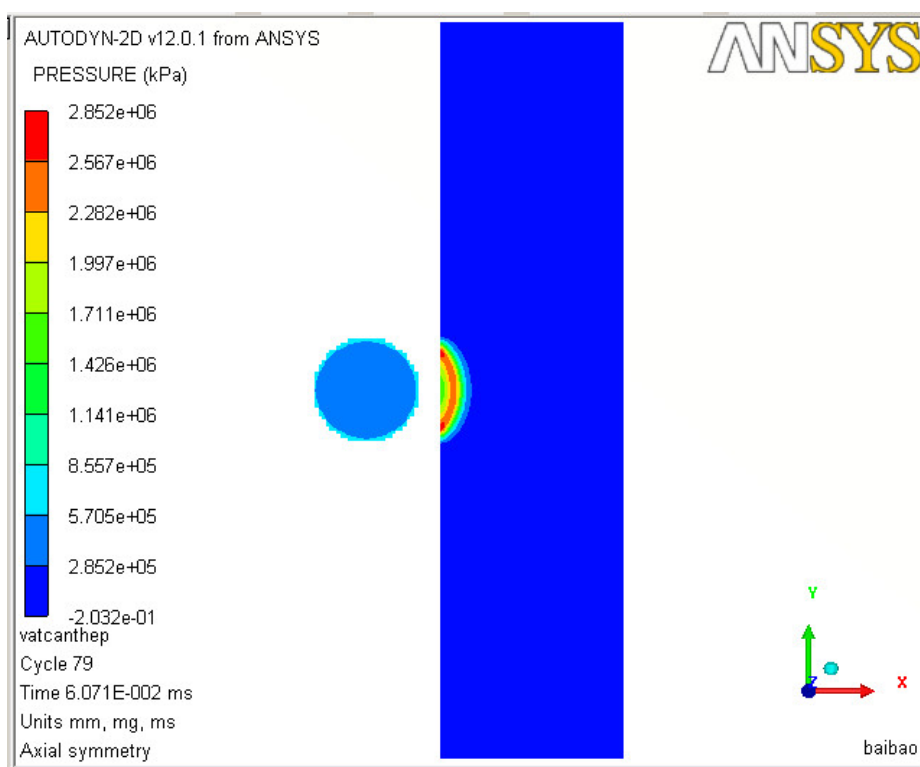
Từ các đồ thị nhận thấy:

- Hàm sóng xung kích có quy luật phù hợp với các kết quả đã được công bố [1,2,3,5,8].

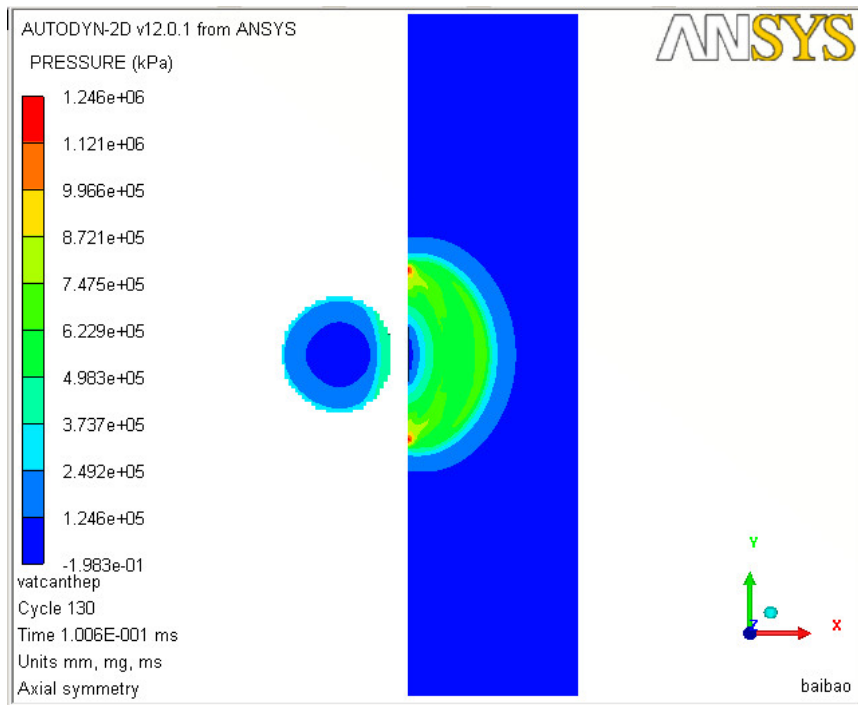
- Giá trị áp suất của sóng xung kích tại các điểm gần vật cản có hiện tượng tăng cao so với các điểm ở xa vật cản và có cùng khoảng cách đến tâm nổ. Mức độ gia tăng được thể hiện trong (hình 7).

- Áp suất sóng xung kích ở các điểm gần vật cản có biên dạng khác so với biên dạng áp suất ở các điểm xa vật cản là do sóng xung kích khi phản xạ đã giao thoa với sóng tới.

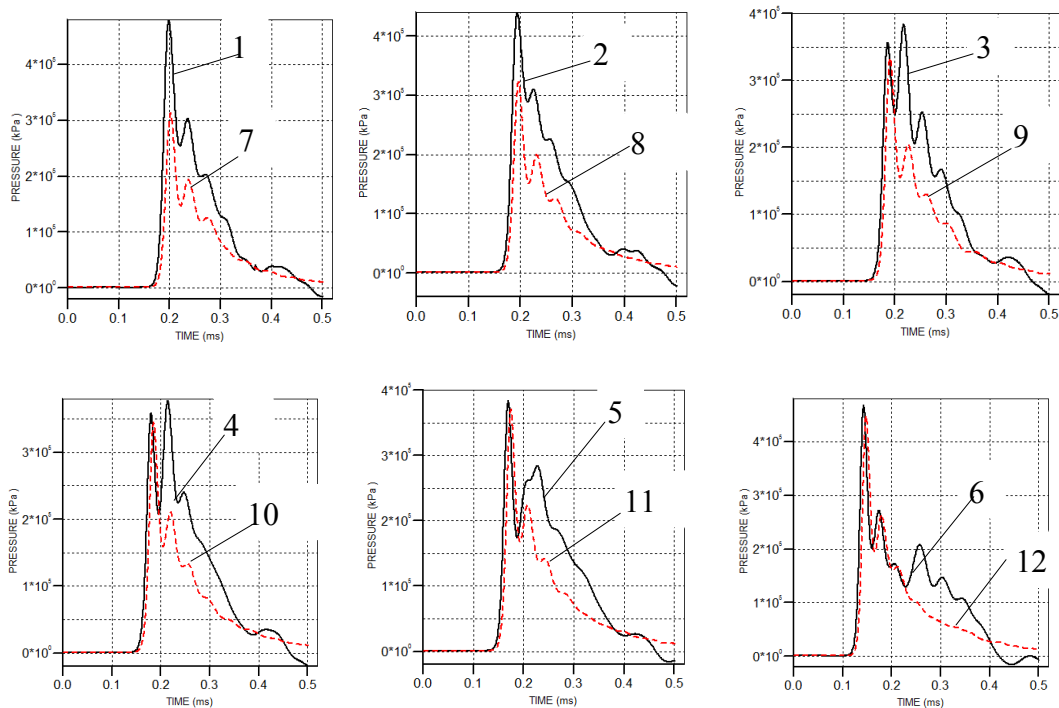
- Sự gia tăng khác nhau của áp suất sóng xung kích khi vật cản có bản chất khác nhau. Đối với vật cản là tấm thép do có độ đàn hồi lớn hơn nên mức độ gia tăng lớn. Tấm bê tông có mức độ gia tăng nhỏ hơn do sóng xung kích bị tổn hao nhiều do phá hủy cấu trúc bề mặt của bê tông.



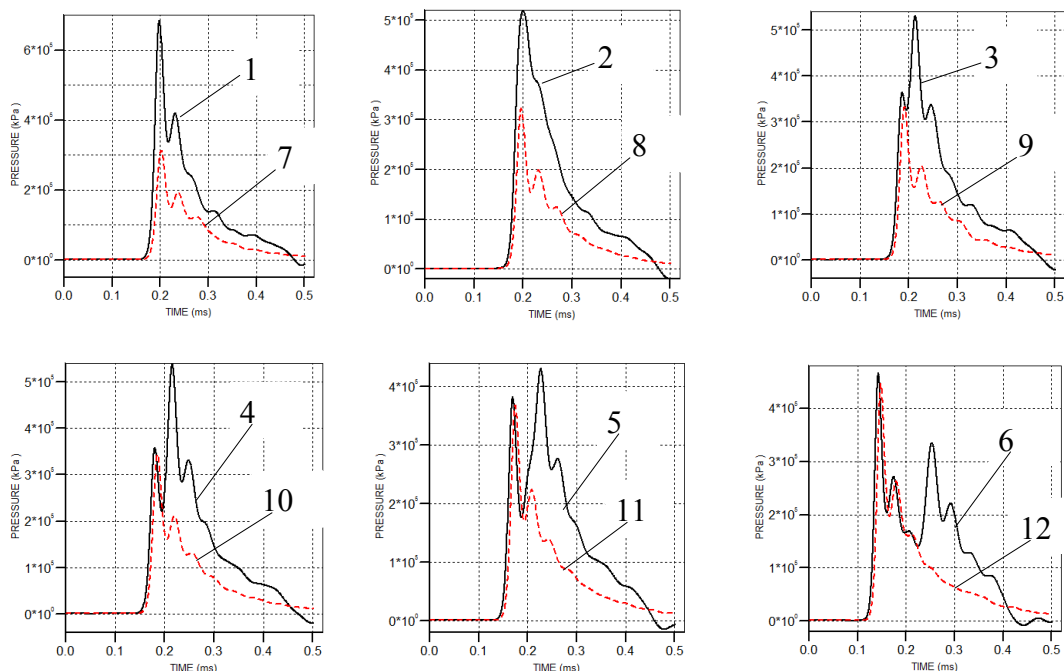
Hình 3. Sóng xung kích bắt đầu lan truyền vào vật cản.



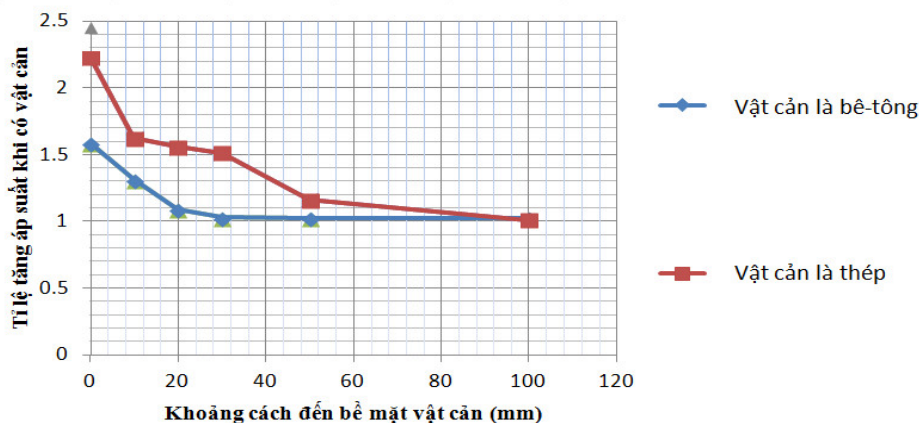
Hình 4. Sóng xung kích lan truyền trong vật cản.



Hình 5. Đồ thị áp suất-thời gian tại các điểm khảo sát khi vật cản là bê-tông.



Hình 6. Đồ thị áp suất-thời gian tại các điểm khảo sát khi vật cản là tấm thép.



Hình 7. Ảnh hưởng của vật cản tới đỉnh áp suất của sóng xung kích.

5. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp mô phỏng nhóm tác giả đã xác định được các thông số cơ bản của sóng xung kích trong môi trường nước có sự ảnh hưởng của vật cản. Các kết quả cho thấy giá trị áp suất của sóng xung kích có sự thay đổi tăng lên ở gần bề mặt của vật cản và với các vật cản khác nhau thì mức độ gia tăng của áp suất cũng khác nhau. Phương pháp này cho phép xác định được các thông số của tải trọng nổ qua đó có thể tính toán được ảnh hưởng của nổ đến các kết cấu và công trình ngầm. Phương pháp tiếp cận bài toán bằng cách áp dụng phần mềm Autodyn và các kết quả mà nhóm tác giả công bố cho phép phát triển ở nhiều bài toán khác trong lĩnh vực nghiên cứu hiện tượng nổ trong môi trường nước. Ưu điểm của phương pháp nghiên cứu này là có thể giải bài toán phức tạp hơn so với bài toán nổ

trong môi trường nước đồng nhất theo các tính toán trước đây. Sự ảnh hưởng của vật cản được tính toán trong bài báo đã phản ánh sát thực hơn với hiện tượng nổ trong thực tế. Các kết quả mà nhóm tác giả công bố có thể được tham khảo cho các tính toán công trình ngầm cũng như các trang thiết bị hoạt động ngầm trong môi trường nước về mức độ gia tăng của áp suất trong môi trường nước khi có vật cản khác nhau.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự giúp đỡ về ý tưởng khoa học của các giáo viên trong bộ môn Đạn, Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ngô Văn Giao, Dương Công Hùng, Đàm Quang Sang (2007). “*Cơ sở lý thuyết cháy nổ*”. Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân.
- [2]. Nguyễn Văn Thủy (2002). “*Vật lý nổ*”. Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.
- [3]. Nguyễn Văn Tính, Đàm Trọng Thắng, Trần Hoài Nam (2012). “*Công tác nổ mìn*”. Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân.
- [4]. ANSYS Autodyn User's Manual (2014). [Http://www.ansys.com](http://www.ansys.com).
- [5]. Gaohui Wang, Sherong Zhang (2014). “*Damage prediction of concrete gravity dams subjected to underwater explosion shock loading*”. Engineering Failure Analysis Vol 39, pp 72–91.
- [6]. G. Barras, M.Souli, N.Aquelet, N.Couty (2012). “*Numerical simulation of underwater explosions using an ALE method*”. Ocean Engineering Vol 41, pp53–66.
- [7]. I.m. Snyman, F.j. Mostert, W. Grundling (2016). “*Design and commissioning of a semi-confined blast chamber*”. Defence Technology Vol 12, pp 147–158.
- [8]. H.Cole (1948). “*Underwater Explosions*”. Princeton University Press.

ABSTRACT

METHOD OF CALCULATION OF THE SHOCK WAVE'S PRESSURE OF THE UNDERWATER EXPLOSION WITH OBSTRUCTIONS

The calculation method of the pressure shock wave underwater explosion when there are obstacles is presented in this paper. The results allowed researchers calculated the impact of different kinds of obstacles based on the law of surface pressure shock wave spread in the aquatic environment. Computational methods with application software from ANSYS AUTODYN 2D simulation. The main results of the paper is the law of the shock waves of pressure over time in the survey when the explosion blocks of TNT in water. In addition, the article also presents the basic steps to solve the problem with the app explosion simulation software and demonstrate the process of propagation of shock waves in water.

Keywords: Shock wave, Autodyn, Underwater explosions.

Nhận bài ngày 15 tháng 07 năm 2016

Hoàn thiện ngày 14 tháng 8 năm 2016

Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 09 năm 2016

Địa chỉ: ¹ Khoa Vũ khí - Học viện kỹ thuật Quân sự

² Viện Tên lửa - Viện Khoa học và Công Nghệ Quân Sự

* Email: nguyengiathang91@gmail.com