

# NGHIÊN CỨU TƯƠNG TÁC CỦA SÓNG NỔ DƯỚI NƯỚC VỚI CHƯỚNG NGẠI CÔNG TRÌNH CÓ DẠNG TRỤ DÀI VÔ HẠN

ThS. TÔ ĐỨC THỌ, GS.TS. VŨ ĐÌNH LỢI  
Học viện Kỹ thuật Quân sự

**T**ương tác của sóng nổ dưới nước với các chướng ngại, công trình luôn là vấn đề cơ học khó do nhiều nguyên nhân khác nhau. Chướng ngại, công trình trong thực tế có nhiều loại nhưng về chủ yếu gồm một số dạng hình cơ bản: trụ, nêm, cầu, phẳng... Để giải quyết các bài toán dạng này cần đưa về việc giải các bài toán nổ với một số hình dạng chướng ngại cơ bản và dựa vào các dạng này để tính toán cho các dạng phức tạp hơn. Nghiên cứu này trình bày tương tác của sóng nổ dưới nước với chướng ngại, công trình có dạng hình trụ dài vô hạn tại các điểm khảo sát khác nhau, làm cơ sở cho việc nghiên cứu tải trọng nổ lên các chướng ngại, công trình khác, đặc biệt là các công trình phòng thủ biển đảo hiện nay.

Tải trọng của sóng nổ được coi là một dạng tải trọng đặc biệt. Nghiên cứu tương tác của sóng nổ với chướng ngại công trình nói chung đều khá phức tạp do nhiều nguyên nhân khác nhau. Trên thực tế, khi thiết kế lượng nổ thì tác dụng của nó với đối tượng tương tác rất được quan tâm. Trong lĩnh vực thiết kế vũ khí các yêu cầu về tính sát thương, phá hoại... của vụ nổ có ý nghĩa sống còn cho sức mạnh của một loại vũ khí. Ở chiều ngược lại, đối tượng bị phá hoại là các công trình hoặc các môi trường khác nhau chịu sự được sự tàn phá của nổ đến đâu cũng là một trong những yêu cầu mang tính sống còn đối với một công trình, đặc biệt là các công trình quân sự.

Trước đây, các bài toán tương tác sóng nổ với chướng ngại luôn gặp khó khăn trong tính toán do các phương pháp toán học và phần mềm tính toán chưa phát triển. Vấn đề này lại thuộc các bài toán có tính phi tuyến nên việc giải quyết còn nhiều hạn chế. Các nghiên cứu nổ dưới nước gần đây về cơ bản đã giải quyết được khá nhiều vấn đề quan trọng, trên cơ sở phân tích lý thuyết và kết hợp với một số thử nghiệm thực tế. Nếu không gắn với các

giả thiết, một số bài toán rơi vào các vấn đề toán học phức tạp và hầu như không có lời giải [5]. Tương tác sóng nổ đối với chướng ngại, công trình với môi trường xung quanh luôn là vấn đề gây cản trở cho tính toán, thiết kế liên quan đến nổ. Với sự phát triển công cụ tính toán, các phần mềm tin học đã giải được một số bài toán mang tính phi tuyến, tính biến dạng, phá hủy lớn, nâng cao được hiệu quả tính toán, thiết kế nổ. Việc mô phỏng tải trọng nổ dưới nước cũng được thực hiện bằng các phần mềm chuyên dụng [3].

Vấn đề biển đảo đang trở nên nóng bỏng với hầu hết các nước có tranh chấp trên biển. Việc xây dựng các công trình phòng ngự biển đảo chịu được tải trọng nổ hoặc thiết kế các loại vũ khí chứa thuốc nổ như: lượng nổ, thủy lôi, ngư lôi... đang là các vấn đề mà các nước ưu tiên và đẩy mạnh nghiên cứu. Nước ta cũng có một số nghiên cứu theo định hướng này [4]. Do vậy, nghiên cứu tương tác sóng nổ dưới nước với chướng ngại có ý nghĩa to lớn trong phát triển lĩnh vực khoa học về xây dựng công trình trên biển đảo và thiết kế vũ khí dưới nước.

## 1. Cơ sở lý thuyết tương tác sóng nổ dưới nước với chướng ngại

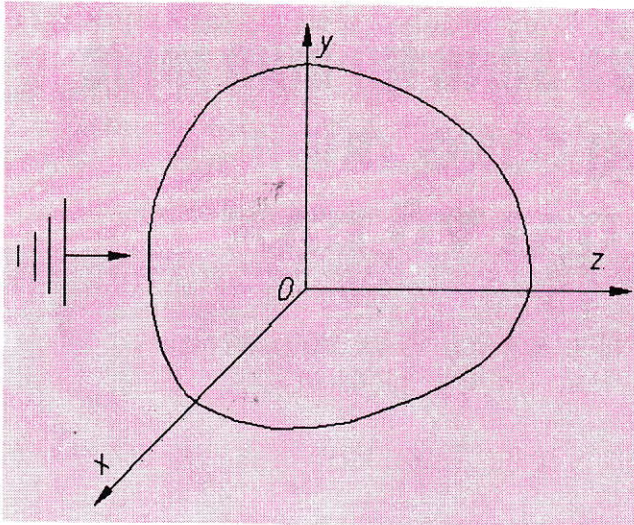
### 1.1. Tương tác sóng nổ dưới nước với chướng ngại có hình dạng bất kỳ

Khảo sát sóng nổ phẳng lan truyền trong chất lỏng và tương tác với chướng ngại hữu hạn có hình dạng bất kỳ (hình 1). Giả sử sóng phẳng lan truyền theo phương trục z, áp lực và tốc độ hạt chất lỏng trong sóng tới cho trước dưới dạng, [5]:

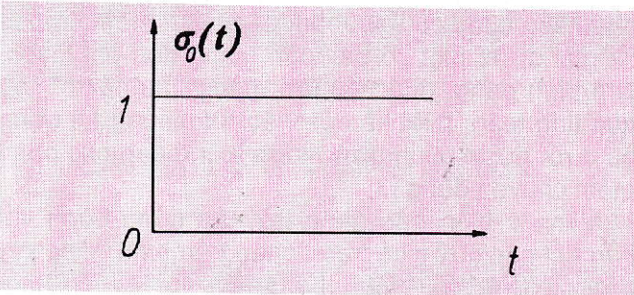
$$p_{st}(z,t) = P_m \cdot f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0 \left(t - \frac{z}{a_0}\right); \quad (1)$$

$$v_{st}(z,t) = \frac{P_m}{a_0 \cdot \rho_0} \cdot f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0 \left(t - \frac{z}{a_0}\right).$$

Trong đó:  $\sigma_0(t-z/a_0)$  là hàm sóng đơn vị (H.2).



H.1. Sóng nổ dưới nước tương tác với chướng ngại có hình dạng bất kỳ



H.2. Tải trọng đơn vị

Tải trọng tác dụng lên toàn bộ chướng ngại, công trình khi sóng bị nhiễu xạ sẽ là tổng của hai thành phần:

$$F(t) = F_{st}(t) + F_{nx}(t) \quad (2)$$

Trong đó:  $F_{st}(t)$  - Tải trọng sóng tới;  $F_{nx}(t)$  - Tải trọng gây ra do sóng phản xạ và nhiễu xạ.

Các hàm trên được xác định theo các công thức sau:

$$\begin{aligned} F_{st}(t) &= -\iint_S P_{st} \cdot \cos n\bar{z} dS = \\ &= -P_m \iint_S f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cos n\bar{z} dS = \\ &= -P_m \iint_{S_1} f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cos n\bar{z} dS \end{aligned} \quad (3)$$

$S_1$  là một phần bề mặt chướng ngại, công trình nằm trong vùng  $z \leq a_0 t$ .

$$\begin{aligned} F_{nt}(t) &= -\iint_S P_{nx}(x, y, z, t) \cdot \cos n\bar{z} dS = \\ &= \rho_0 \iint_S \frac{d\varphi}{dt} \cos n\bar{z} dS \end{aligned} \quad (4)$$

là áp lực của riêng thành phần sóng nhiễu xạ và phản xạ;

$\varphi$  - Thế tốc độ, thỏa mãn phương trình sóng [5]:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} = -\frac{1}{a_0^2} \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (5)$$

Các giả thiết và điều kiện biên:

❖ Chướng ngại, công trình nằm trong môi trường nước cứng và bất động.

❖ Trên bề mặt chướng ngại, công trình, tốc độ hạt chất lỏng theo phương pháp tuyến với bề mặt chướng ngại, công trình bằng 0:

$$\frac{d\varphi}{dx} + v_{st} \cdot \cos n\bar{z} = 0 \quad (6)$$

Hay:

$$\frac{d\varphi}{dx} = -\frac{P_m}{a_0 \cdot \rho_0} \cdot f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cos n\bar{z}.$$

❖ Phát xạ sóng ở vô cùng (xa chướng ngại, công trình):

$$\varphi \rightarrow 0 \text{ khi } r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \rightarrow \infty \quad (7)$$

Như vậy để xác định được thành phần  $F_{nx}(t)$  của tải trọng sóng nổ cần phải giải phương trình (4) với các điều kiện biên (5) và (8).

Sử dụng phương pháp biến đổi Laplace có thể nhận được kết quả trong trường hợp tổng quát như sau:

$$\begin{aligned} F_{nx}(t) &= Q(0) \cdot \Psi(t) + \int_0^t Q(t-\tau) \cdot \Psi(\tau) \cdot d\tau = \\ &= Q(0) \cdot \Psi(t) + \int_0^t Q(t-\tau) \cdot \dot{\Psi}(\tau) \cdot d\tau. \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} Q(t) &= a_0 \cdot \rho_0 \iint_S v_{st} \cdot \cos^2 n\bar{z} \cdot dS = \\ &= P_m \iint_S f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cos^2 n\bar{z} \cdot dS \end{aligned}$$

$\Psi(t)$  là hàm số kể đến ảnh hưởng của nhiễu xạ.  $\Psi(t)$  và khối lượng kết hợp  $M_{st}$  có liên hệ sau:

$$M_{st} = F_0 \cdot \frac{a}{a_0} \int_0^\infty \Psi(t) \cdot d\tau; \quad (9)$$

$M_{st}$ ,  $F_0$  phụ thuộc vào hình dạng của chướng ngại, công trình.

### 1.2. Tương tác của sóng nổ lên chướng ngại dạng trụ dài vô hạn

Các công thức trên tính toán cho một số chướng ngại, công trình có hình dạng đặc biệt.

Đối với chướng ngại, công trình có dạng trụ dài, chúng ta có các kết quả cụ thể như sau:

❖ Thành phần do sóng tới:

$$F_{st}(\bar{t}) = \begin{cases} 2a\sqrt{2\bar{t} - \bar{t}^2} & \text{khi } \bar{t} < 2 \\ 0 & \text{khi } \bar{t} \geq 2 \end{cases} \quad (10)$$

❖ Thành phần do sóng phản xạ và nhiễu xạ:

$$F_{nx}(\bar{t}) = \pi a \begin{cases} \frac{1}{2\pi}(3 - \bar{t})\arccos(1 - \bar{t}) + \\ + \frac{1}{6\pi}(3 - 8\bar{t} + \bar{t}^2)\sqrt{2\bar{t} - \bar{t}^2} & \text{khi } \bar{t} < 2 \\ \frac{3}{2} - \frac{\bar{t}}{2} - \frac{(3-\bar{t})}{2\pi}\arccos(3 - \bar{t}) + \\ + \frac{1}{\pi}(0,5 + \frac{6\bar{t} - 8 - \bar{t}^2}{6})\sqrt{6\bar{t} - 8 - \bar{t}^2} & \text{khi } 2 < \bar{t} < 4 \\ 0 & \text{khi } 4 < \bar{t} \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó: a - Bán kính hình trụ,  $\bar{t} = \frac{a_0 t}{a}$ .

**2. Thử nghiệm số tính tải trọng sóng nổ lên chướng ngại có dạng trụ dài vô hạn**

**2.1. Bài toán**

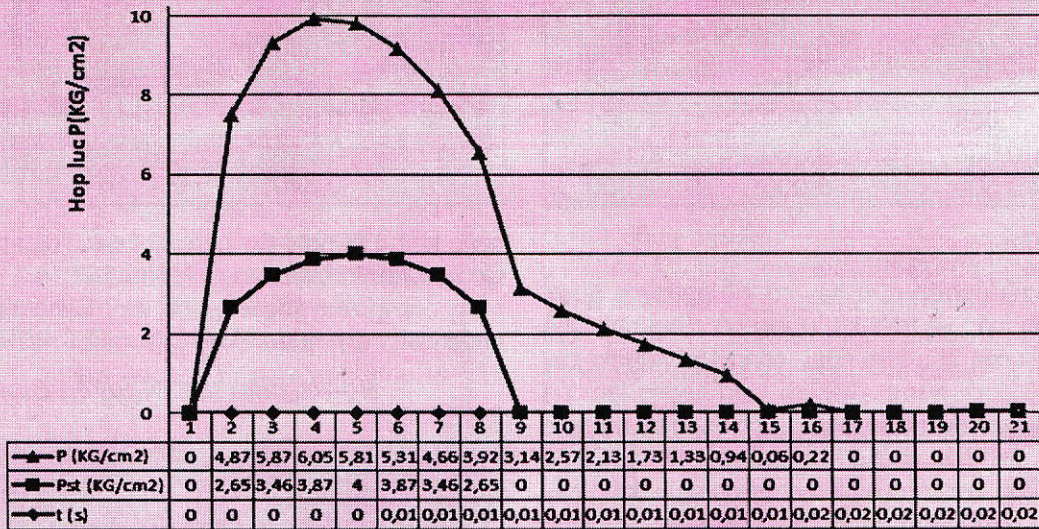
Khảo sát sóng nổ quy luật  $p(t)=10(1-t/0,3)$  Kg/cm<sup>2</sup> tác dụng lên chướng ngại hình cột trụ dài có bán kính a=2 m. Các số liệu đầu vào: tốc độ

truyền sóng  $a_0=500$  m/s; thời gian khảo sát  $t=0,02$  s; số điểm tính toán theo thời gian t: 20.

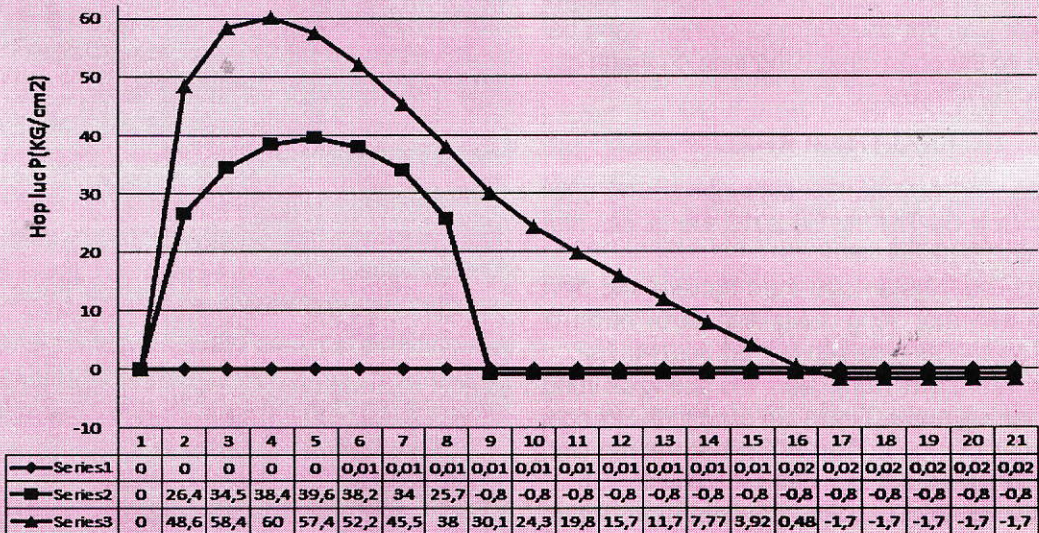
**2.2. Kết quả**

Sử dụng phần mềm Matlab thiết lập chương trình tính như dữ liệu ở trên ta thu được các kết quả là các Bảng giá trị sóng tới p(t), sóng tới đơn vị và đồ thị tại các điểm khảo sát. Các đồ thị hợp lực sóng nổ lên 1 m chướng ngại, công trình dạng trụ dài theo hình H.4 và H.5.

Nhận xét: Các kết quả qua Bảng 1, 2 và đồ thị hình 4, 5 đã phản ánh được bản chất cơ học của vấn đề nghiên cứu. Ngoài ra, trên cơ sở tham khảo các kết quả thử nghiệm nổ dưới nước trên thực tế tại quần đảo Trường Sa mà nhóm tác giả thực hiện tháng 6-2013, [1], [2] và một số thực nghiệm khác đã cho thấy tính đồng dạng và tiệm cận rất lớn giữa kết quả lý thuyết và thực nghiệm.



H.4. Đồ thị hợp lực sóng nổ dưới nước tác dụng lên chướng ngại dạng trụ dài (đối với sóng đơn vị)



H.5. Đồ thị hợp lực sóng nổ dưới nước tác dụng lên chướng ngại dạng trụ dài (đối với sóng tới  $p(t)=10(1-t/0,3)$ )

Bảng 1. Kết quả khảo sát đối với sóng tới đơn vị

T, s	F <sub>st</sub> , KG/cm <sup>2</sup>	F <sub>nx</sub> , KG/cm <sup>2</sup>	F, KG/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0,000	0,000
0,001	2,645	2,221	4,8671
0,002	3,464	2,401	5,865
0,003	3,873	2,179	6,052
0,004	4,000	1,808	5,808
0,005	3,873	1,436	5,309
0,006	3,464	1,193	4,657
0,007	2,645	1,273	3,919
0,008	0,000	3,141	3,141
0,009	0,000	2,572	2,572
0,010	0,000	2,129	2,129
0,011	0,000	1,726	1,726
0,012	0,000	1,333	1,333
0,013	0,000	0,941	0,941
0,014	0,000	0,558	0,058
0,015	0,000	0,215	0,215
0,016	0,000	0,000	0,000
0,017	0,000	0,000	0,000
0,018	0,000	0,000	0,000
0,019	0,000	0,000	0,000
0,020	0,000	0,000	0,000

Bảng 2. Kết quả khảo sát đối với sóng tới

T, s	F <sub>st</sub> , KG/cm <sup>2</sup>	F <sub>nx</sub> , KG/cm <sup>2</sup>	F, KG/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0,000	0,000
0,001	26,398	22,163	48,562
0,002	34,479	23,882	58,362
0,003	38,446	21,580	60,027
0,004	39,584	17,805	57,390
0,005	38,182	14,029	52,212
0,006	33,969	11,564	45,524
0,007	25,681	12,320	38,001
0,008	-0,840	30,946	30,105
0,009	-0,840	25,155	24,314
0,010	-0,840	20,653	19,812
0,011	-0,840	16,557	15,716
0,012	-0,840	12,572	11,731
0,013	-0,840	8,613	7,772
0,014	-0,840	4,764	3,923
0,015	-0,840	1,319	0,479
0,016	-0,840	-0,841	-1,682
0,017	-0,840	-0,841	-1,682
0,018	-0,840	-0,841	-1,682
0,019	-0,840	-0,841	-1,682
0,020	-0,840	-0,841	-1,682

4. Kết luận

Kết quả của nghiên cứu này có thể áp dụng được trong các tính toán về thiết kế lượng nổ cũng như khả năng chịu tải của chướng ngại, công trình được xây dựng kiên cố dưới nước. Giải bài toán tương tác của sóng nổ dưới nước với chướng ngại có dạng trụ dài giúp cho việc xác định bản chất cơ học của tương tác và độ lớn của các hợp lực sóng nổ lên chướng ngại dạng này được rõ ràng hơn. Cùng các nghiên cứu khác về tương tác của sóng nổ dưới nước với các dạng chướng ngại, công trình có các hình dạng khác nhau sẽ góp phần giải quyết được bài toán với chướng ngại có hình dạng bất kỳ bằng cách có thể phân dạng công trình đó thành các dạng đã được nghiên cứu. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng hợp số liệu thực nghiệm nổ dưới nước tại Đảo Sơn Ca-Trường Sa 2013. Đề tài cấp nhà nước KC-09.06/11-15.
2. Tô Đức Thọ. Nghiên cứu thực nghiệm xác định các tham số trên mặt sóng xung kích dưới nước ở Trường Sa. Tạp chí Công nghiệp Mỏ. Số 3-2014. Tr.2.
3. Tô Đức Thọ, Trịnh Trung Tiến. Mô phỏng tải trọng nổ trong môi trường nước, Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc. Tập 2. Cơ học vật rắn biến dạng. Hà Nội. 6/2014.
4. Vũ Đình Lợi, Tô Đức Thọ, Lê Anh Tuấn, Phạm Công Nghị. Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm nổ trong vùng nước nông tại khu vực Trường Sa, Tuyển tập

công trình Hội nghị Cơ học Kỹ thuật Toàn quốc. Tập 2. Cơ học vật rắn biến dạng. Hà Nội. 6/2014.

5. B.V.Zamyslyayev, et al. Dynamic loads in underwater explosion. Washington,D.C. 2/1973.

Người biên tập: Nguyễn Bình

SUMMARY

Interaction of the blast wave with underwater obstacles, structures are always difficult mechanical problems due to many different causes. In fact, there are many kind of obstacles, structures, but the main types include several basic shapes: long cylinder, wedge, sphere, plate... To solve problems of this type, we should divide obstacles and structures into some basic shapes and are based on them to apply in solving the more complex forms. This study presents the interaction of the blast wave with underwater obstacles, structures having infinitely long cylinder-shaped at different survey points, as the basis for the study on explosive load onto others, especially the maritime defense structures in the current.