

## NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CÔNG THỨC THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ SỐNG NỔ TRONG VÙNG NƯỚC NÔNG Ở TRƯỜNG SA

Vũ Đình Lợi, Tô Đức Thọ\*, Lê Anh Tuấn, Nguyễn Công Nghị

Học viện Kỹ thuật Quân sự (V2)

\*E-mail: ductho352032@gmail.com

Ngày nhận bài: 10-4-2015

**TÓM TẮT:** Áp suất bề mặt sóng xung kích và thời gian pha nén tồn tại là các tham số đặc trưng dùng để tính toán nổ dưới nước. Theo các công trình đã công bố, chúng thường được tính trong môi trường nước thông thường và ít khi được thực trong môi trường nước biển do các điều kiện thực hiện khó khăn. Nghiên cứu này trình bày kết quả thử nghiệm nổ dưới nước nông ở Trường Sa và xác định được các công thức thực nghiệm đối với các tham số đó.

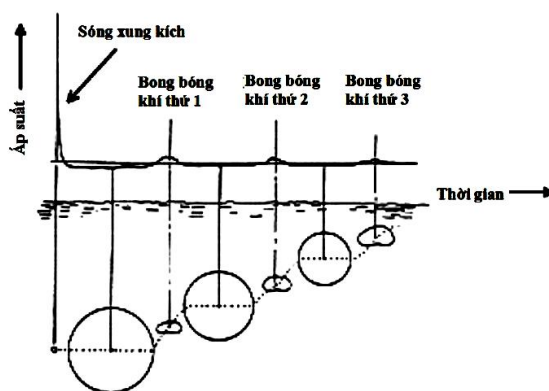
**Từ khóa:** Áp suất, thời gian, nổ dưới nước, thực nghiệm, pha nén, công thức, sóng xung kích ...

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Nổ nói chung là một ngành khoa học phức tạp. Thông thường, thực nghiệm là phương pháp thường dùng trong tính toán tác dụng của nổ. Ở các môi trường khác nhau, các tham số môi trường và cách sắp đặt thí nghiệm nổ cũng khác nhưng mục đích cần tìm đối với phương pháp này là quy luật thời gian pha nén tác dụng và quy luật áp lực lớn nhất tác dụng theo thời gian.

Đối với nổ dưới nước, khi nổ sản phẩm nổ giãn nở và đẩy nước ra hình thành bóng khí. Bóng khí giãn nở đẩy nước chuyển động ra ngoài cho đến khi áp suất trong nó cân bằng với áp suất thủy tĩnh tại điểm nổ và do quán tính nó vẫn tiếp tục chuyển động. Do vậy, áp suất bóng khí giảm và nhỏ hơn áp suất thủy tĩnh lại khiến nước chuyển động ngược về tâm bóng khí. Bóng khí bị nén lại đến một thể tích nhỏ nhất nào đó rồi lại giãn ra. Khối lượng riêng của khí nhỏ hơn của nước nên nó luôn bị áp lực thủy tĩnh nâng lên phía bề mặt tự do. Với lượng nổ đặt sâu có thể quan sát được đến hơn mười lần dao động của bóng khí. Với lượng nổ đặt nông thì số bóng khí dao động rất ít, thậm chí chỉ

một bóng khí khuyết được hình thành. Sơ đồ về sự co giãn của bóng khí dưới nước như hình 1, [1, 2].



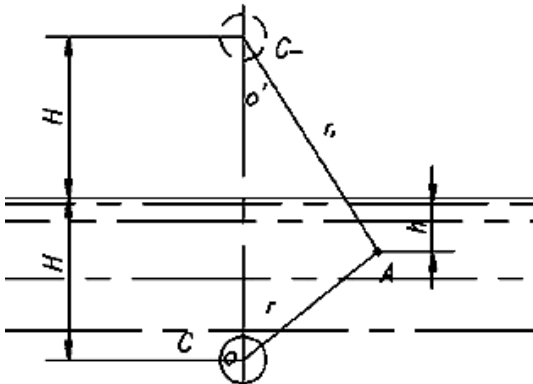
**Hình 1.** Hiện tượng co giãn của bóng khí nổ dưới nước

Các lý thuyết và thực nghiệm cho thấy rằng, năng lượng nổ tập trung phần lớn ở pha nén thứ nhất, các pha sau có năng lượng nhỏ hơn nhiều đặc biệt là với nổ trong vùng nước nông.

Từ những yêu cầu về tính toán, thiết kế các vấn đề liên quan đến tải trọng nổ thì việc có bộ số liệu thực nghiệm nổ thực tế rất có ý nghĩa trong việc lựa chọn, tính toán tác dụng nổ cụ thể. Dữ liệu nổ thực tế dưới nước ở Trường Sa sẽ giúp các nhà khoa học sau này có căn cứ dữ liệu tin cậy trong việc thiết kế công trình phòng thủ biển đảo chịu tác dụng của nổ. Ngoài ra, từ việc xử lý dữ liệu thời gian đã thu được công thức thực nghiệm xác định tham số sóng nổ tại vùng biển đảo này.

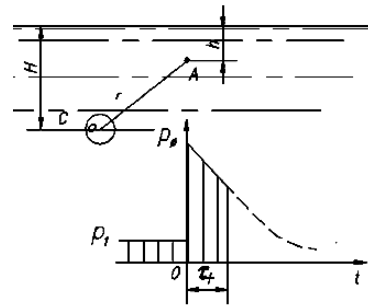
### CÁC THAM SỐ SÓNG NỔ DƯỚI NƯỚC

Khi sóng xung kích gặp môi trường có mật độ lớn hơn mật độ môi trường nó đang lan truyền thì phản xạ xảy ra dưới dạng sóng xung kích và ngược lại, nếu sóng xung kích gặp môi trường có mật độ nhỏ hơn thì sự phản xạ xảy ra dưới dạng sóng dẫn. Tiếp xúc với mặt thoáng là không khí và nó có mật độ nhỏ hơn nước, do vậy sóng phản xạ sẽ có dạng sóng dẫn. Sóng này sẽ lan truyền từ mặt nước vào chiều sâu của nước với tốc độ bằng tốc độ âm của môi trường. Sơ đồ xem xét sự ảnh hưởng của mặt thoáng được thể hiện theo hình 2 [2].



**Hình 2.** Sơ đồ xác định sự ảnh hưởng của mặt thoáng

Tại điểm xét A, dưới tác dụng của sóng dẫn, áp suất sau mặt sóng xung kích nhanh chóng giảm xuống thấp hơn áp suất thủy tĩnh tại điểm đó, hình 3. Khi sóng dẫn truyền đến A thì thời gian tác dụng của pha nén giảm xuống, trên mặt sóng có bước nhảy vọt mới, các tham số trên mặt sóng giảm đột ngột, điều này cho thấy mặt thoáng làm giảm tác dụng của tải trọng nổ.



**Hình 3.** Biểu đồ áp suất tại một điểm trong nước ở gần bề mặt thoáng

Áp suất trên mặt sóng xung kích trong nước,  $r_\phi/r \geq 10$  [2]:

$$\frac{p_\phi - p_1}{p_1} = 14700 \cdot \left( \frac{r_0}{r_\phi} \right)^{1,13} \quad (1)$$

Trong đó:  $p_\phi$  là áp suất trên mặt sóng xung kích;  $p_1$  là áp suất của môi trường nước xung quanh;  $r_\phi$  là bán kính từ tâm nổ đến điểm khảo sát;  $r_0$  bán kính lượng nổ.

Áp suất tại một điểm cố định trong môi trường nước, biến đổi theo thời gian có thể mô tả bằng công thức gần đúng sau [2]:

$$\frac{p - p_1}{p_1} = \frac{p_\phi - p_1}{p_1} \cdot e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (2)$$

Trong âm học, gần đúng thì thời gian tác động của pha nén tại điểm A trong trường hợp này được xác định bằng hiệu số thời gian truyền đến điểm xét của sóng dẫn và sóng xung kích [2]:

$$\tau_+ = \frac{r}{a_1} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{Hh}{r^2}} - 1 \right) \quad (3)$$

Trong đó:  $r$  là khoảng cách từ tâm lượng nổ đến điểm nghiên cứu (m);  $H, h$  lần lượt là khoảng cách từ mặt nước đến tâm nổ và tâm điểm xét (m);  $a_1$  là tốc độ âm trong nước (m/s).

Tại một điểm cố định trong môi trường nước thì thời gian tác dụng pha nén được tính theo công thức:

$$\tau_+ = 5\theta \quad (4)$$

Trong đó:  $\theta$  là hằng số thời gian được xác định theo công thức:

Đối với lượng nổ cầu:

$$\frac{a_1 \cdot \theta}{r_0} = 1,4 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{0,24} \quad (5)$$

Đối với lượng nổ trụ:

$$\frac{a_1 \cdot \theta}{r_0} = 1,8 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{0,43} \quad (6)$$

Với  $r_0$  là bán kính lượng nổ.

Theo Kedrinskiy, V. K., [3], các tham số bề mặt sóng xung kích dạng trụ và chỉ số hàm mũ có thể được tính như một hàm của đại lượng không thứ nguyên  $\bar{r} = \frac{r}{r_0}$  :

$$\begin{aligned} p_{fr} &= 13660 \bar{r}^{-1,92} \text{MPa} \quad \text{khi} \quad 1 \leq \bar{r} \leq 2,5 \\ \theta/r_0 &= 0,61 \bar{r}^{-1,64} 10^{-4} \text{ s/m} \quad \text{khi} \quad 1,6 \leq \bar{r} \leq 8,5 \\ p_{fr} &= 10200 \bar{r}^{-1,60} \text{MPa} \quad \text{khi} \quad 2,5 \leq \bar{r} \leq 6 \\ \theta/R_{ch} &= 5,5 \bar{r}^{-0,61} 10^{-4} \text{ s/m} \quad \text{khi} \quad 8,5 \leq \bar{r} \leq 50 \quad (7) \\ p_{fr} &= 4000 \bar{r}^{-1,08} \text{MPa} \quad \text{khi} \quad 6 \leq \bar{r} \leq 15 \\ \theta/r_0 &= 10,4 \bar{r}^{-0,45} 10^{-4} \text{ s/m} \quad \text{khi} \quad 50 \leq \bar{r} \leq 3200 \\ p_{fr} &= 1540 \bar{r}^{-0,72} \text{MPa} \quad \text{khi} \quad 15 \leq \bar{r} \leq 3200 \end{aligned}$$

Cole, R. H., [2] dựa vào nguyên lý đồng dạng, nếu các kích thước tuyến tính của một lượng nổ và các kích thước khác được thay đổi với cùng tỉ lệ khi áp dụng cho hai vụ nổ thì các sóng xung kích được tạo ra sẽ có cùng áp

lực tỉ lệ với khoảng cách tương ứng với cùng tỉ lệ này.

Do vậy, khi tính toán các tham số sóng xung kích Cole, R. H., đưa ra các công thức dựa trên mối quan hệ giữa lượng nổ và khoảng cách đến điểm xét như sau:

$$p_m = k \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^\alpha \quad (8)$$

$$I(t/\sqrt[3]{C}) = l \sqrt[3]{C} \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^\beta \quad (9)$$

$$E_f(t/\sqrt[3]{C}) = m l \sqrt[3]{C} \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^\gamma \quad (10)$$

$$\theta(t/\sqrt[3]{C}) = n \sqrt[3]{C} \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^\eta \quad (11)$$

Ở đây: các hằng số  $k, l, m, n$  và các số mũ là các hằng số  $\alpha, \beta, \gamma, \eta$  tương ứng với từng loại thuốc nổ khác nhau.

Cách viết tổng quát cho các tham số sóng xung kích dưới dạng này là:

$$Para = K \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^\nu \quad (12)$$

Như vậy theo lý thuyết của Cole, R. H., và nguyên lý đồng dạng các chỉ số  $K$  và  $\nu$  là các đại lượng cần tìm trong mỗi tham số khác nhau. Ứng với mỗi loại thuốc nổ thì chúng lại có giá trị khác nhau. Bảng 1 thể hiện tham số của một số loại thuốc nổ theo tính toán của Cole, R. H.

**Bảng 1.** Các hằng số và số mũ của các tham số sóng xung kích của một số thuốc nổ

Thuốc nổ	$P_m$ (MPa)		$\theta/\sqrt[3]{C}$		$I/\sqrt[3]{C}$		$E/\sqrt[3]{C}$		Phạm vi (MPa)
	K	$\alpha$	K	A	K	$\alpha$	K	$\alpha$	
TNT	52,4	1,13	0,084	-0,23	6,75	0,89	84,4	2,04	3,4 - 138
PENTOLITE	56,5	1,14	0,084	-0,23	5,73	0,91	92,0	2,04	3,4 - 138
H-6	89,2	1,10	0,038	-0,28	6,68	0,91	115,3	2,08	10,3 - 138
HBX-1	56,7	1,18	0,083	-0,29	6,42	0,85	106,2	2,00	3,4 - 60

**Nhận xét:** Chúng ta có thể thấy rằng, dù theo các lý thuyết giải quyết vấn đề khác nhau nhưng trong các công thức tính tham số sóng nổ đều cho thấy có mối liên hệ tỉ lệ giữa kích thước của lượng nổ (bán kính  $r_0$  hoặc đại lượng  $\sqrt[3]{C}$ ) và khoảng cách tới điểm xét  $R$ . Do vậy nó là một hằng số. Từ đây, chúng ta có thể xây dựng một công thức phù hợp với các điều kiện trong nước. Thực nghiệm nổ dưới nước trên đảo Sơn Ca [4], thuộc quần đảo Trường Sa nằm trong đề tài KC-09.06/11-15 do GS. TS. Vũ Đình Lợi chủ trì được tiến hành vào đầu tháng 6/2013 đã thu được các dữ liệu quan trọng nhờ các thiết bị thí nghiệm hiện đại và các yếu tố khác làm cơ sở để tác giả xây dựng các công thức xác định các tham số sóng xung kích sử dụng tin cậy trong khu vực biển đảo của nước ta.

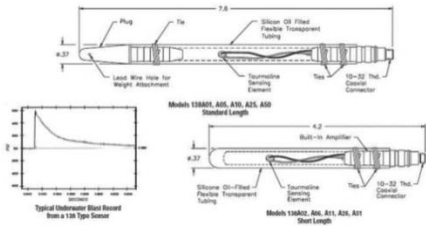
## THỬ NGHIỆM NỔ THỰC TẾ XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ SỐNG

### Thiết bị thí nghiệm

Máy đo động đa kênh NI SCXI-1000DC với đầu đo áp lực kiểu tinh thể áp điện PCB 138A01 có độ nhạy và độ chính xác cao được gắn chặt vào tấm bê tông để đo áp lực phản xạ hoặc được đặt ở các vị trí cần xác định áp lực khác. Đầu đo làm việc theo nguyên lý sử dụng tinh thể gốm áp điện cho phép đo nhanh, chính xác và tin cậy. Máy đo được điều khiển hoàn toàn bằng máy tính thông qua kết nối USB và có các loại các đo được gia tốc, biến dạng, chuyển vị, điện áp ... Hình dạng cấu tạo của chúng được thể hiện theo hình 4 và 5.



Hình 4. Máy đo động đa kênh NI SCXI-1000DC

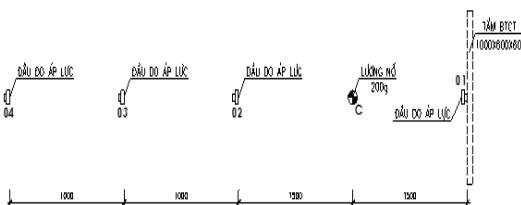


Hình 5. Đầu đo tinh thể áp điện PCB138A01

### Sơ đồ và kết quả thí nghiệm

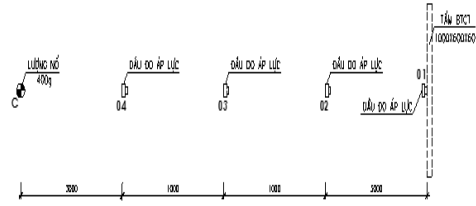
Thí nghiệm nổ dưới nước được thực hiện với 10 lượng nổ khác nhau bao gồm:

Thí nghiệm 1, 2: Lượng nổ 200 g TNT cách đầu đo lần lượt là 1,5 m; 2,5 m và 3,5 m.



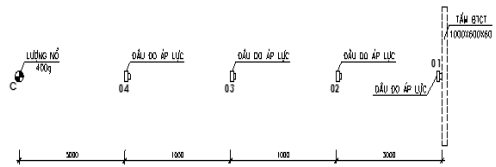
Hình 6. Sơ đồ thí nghiệm 1 và 2

Thí nghiệm 3: Lượng nổ 400 g cách các đầu đo 3 m, 4 m và 5 m như hình 7.



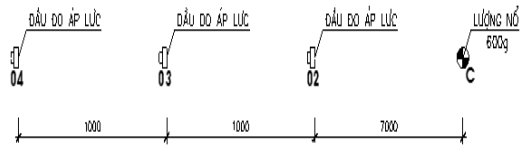
Hình 7. Sơ đồ thí nghiệm 3

Thí nghiệm 4: Lượng nổ 400 g cách các đầu đo 5 m, 6 m và 7 m như hình 8.



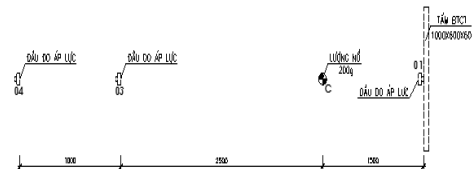
Hình 8. Sơ đồ thí nghiệm 4

Thí nghiệm 5: Lượng nổ 600 g cách các đầu đo 7 m, 8 m và 9 m như hình 9.



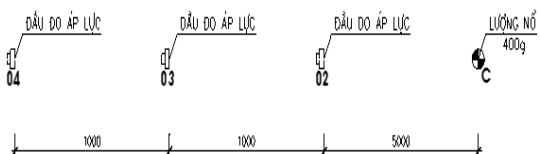
Hình 9. Sơ đồ thí nghiệm 5

Thí nghiệm 6, 7: Lượng nổ 200 g cách các đầu đo 2,5 m và 3,5 m như hình 10.



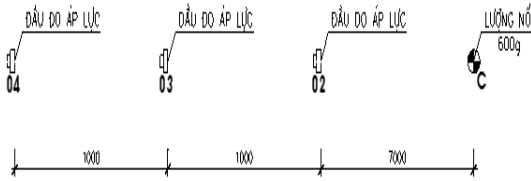
Hình 10. Sơ đồ thí nghiệm 6 và 7

Thí nghiệm 8: Lượng nổ 400 g cách các đầu đo 5 m, 6 m và 7 m như hình 11.



Hình 11. Sơ đồ thí nghiệm 8

Thí nghiệm 9, 10: Lượng nổ 600 g cách các đầu đo 7 m, 8 m và 9 m như hình 12.



Hình 12. Sơ đồ thí nghiệm 9 và 10

## KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ XÂY DỰNG CÔNG THỨC THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ SỐNG NỔ TẠI TRƯỜNG SA

### Kết quả thí nghiệm

Từ các kết quả thí nghiệm, qua xử lý số liệu từ các đầu đo thu được các bảng số liệu các tham số khác nhau. Tập hợp các kết quả thử nghiệm cho trong các bảng:

Bảng 2. Tổng hợp kết quả áp lực lớn nhất ở các lần thí nghiệm và thời gian đo tương ứng

TT	Đầu đo 01		Đầu đo 02		Đầu đo 03		Đầu đo 04	
	P(kPa)	t(s)	P(kPa)	t(s)	P(kPa)	t(s)	P(kPa)	t(s)
Lần 1	26.884	0,05	7.350,2	0,0502	6.511,3	0,0508	1.095,7	0,0516
Lần 2	19.451	0,0249	11.302	0,025	7.275,7	0,0256	5.588,8	0,0263
Lần 3	3.062,2	0,0268	4.138,4	0,025	5.093,2	0,0243	9.165,2	0,0237
Lần 4	3.012	0,0119	3.119,4	0,01	4.757,3	0,0094	5.879,8	0,0087
Lần 5			4.063	0,0094	3.725	0,01	4.259,1	0,0107
Lần 6	19.832	0,01			8.401	0,0106	5.692,6	0,0113
Lần 7	17.596	0,01			7.607,4	0,0104	4.742,8	0,011
Lần 8			5.159,6	0,0093	3.840,5	0,01	3.618,4	0,0106
Lần 9			3.893,8	0,0093	3.065,7	0,01	3.071,9	0,0106
Lần 10			5.274,2	0,0094	4.174,8	0,01	3.471	0,0107

Bảng 3. Tính toán tốc độ truyền sóng trong nước

TT	02	03	04	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	Vts (m/s)
	t(s)	t(s)	t(s)	02-03 (L=1 m)	03-04 (L=1m)	01-04 (L=2 m)	
Lần 1	0,0502	0,0508	0,0516	1.666,67	1.250,00	1.428,57	1.535,74
Lần 2	0,0250	0,0256	0,0263	1.666,67	1.538,46	1.600,00	
Lần 3	0,0250	0,0243	0,0237	1.428,57	1.538,46	1.481,48	
Lần 4	0,0100	0,0094	0,0087	1.612,90	1.515,15	1.562,50	
Lần 5	0,0094	0,0100	0,0107	1.562,50	1.515,15	1.538,46	
Lần 6		0,0106	0,0113		1.612,90		
Lần 7		0,0104	0,0110		1.562,50		
Lần 8	0,0093	0,0100	0,0106	1.515,15	1.562,50	1.538,46	
Lần 9	0,0093	0,0100	0,0106	1.515,15	1.562,50	1.538,46	
Lần 10	0,0094	0,0100	0,0107	1.562,50	1.515,15	1.538,46	

Bảng 4. Số liệu thời gian duy trì pha nén thứ nhất

Lượng nổ TNT dưới nước		Đầu đo 2		Đầu đo 3		Đầu đo 4	
Thí nghiệm	Khối lượng (g)	$\tau$ (s)	Khoảng cách (m)	$\tau$ (s)	Khoảng cách (m)	$\tau$ (s)	Khoảng cách (m)
1	200	0,0004	1,5	0,0002	2,5	0,0002	3,5
2	200	0,0005	1,5	0,00035	2,5	0,0003	3,5
3	400	0,0002	5	0,0004	4	0,00035	3
4	400	0,00022	7	0,00012	6	0,00016	5
5	600	0,00014	7	0,00016	8	0,00012	9
6	200	Không có đầu đo		0,0003	2,5	0,0003	3,5
7	200	Không có đầu đo		0,00036	2,5	0,0003	3,5
8	400	0,00024	5	0,00016	6	0,00022	7
9	600	0,00018	7	0,00018	8	0,00014	9
10	600	0,00016	7	0,00018	8	0,00018	9

**Bảng 5.** Số liệu áp lực lớn nhất và thời gian duy trì trong pha nén thứ hai

Khối lượng thuốc nổ (g)	Đầu đo 2		Đầu đo 3		Đầu đo 4		Thứ tự TN
	$\tau$ (s)	P(kPa)	$\tau$ (s)	P(kPa)	$\tau$ (s)	P(kPa)	
200	0,0001	246,058	0,001	764,7844	0,0007	97,71749	1
200	0,00005	118,743	0,00165	926,0275	0,00115	480,9022	2
400	0,0001	2914,23	0,0003	1089,783	0,00115	677,3105	3
400	0,00004	195,383	0,00012	4757,331	0,00004	81,38503	4
600	0,0001	260,716	0,00024	69,13559	0,00024	524,4554	5
200	Không có đầu đo		0,00004	33,53646	0,00046	961,2441	6
200	Không có đầu đo		Ko pn	Ko pn	0,00012	130,3824	7
400	0,00004	343,848	0,0001	466,798	0,00014	102,1147	8
600	0,00002	41,6837	0,00008	189,335	0,0001	93,52968	9
600	0,0004	25,7693	0,00004	33,53646	Ko pn	Ko pn	10

**Xây dựng công thức thực nghiệm xác định các tham số sóng nổ tại Trường Sa**

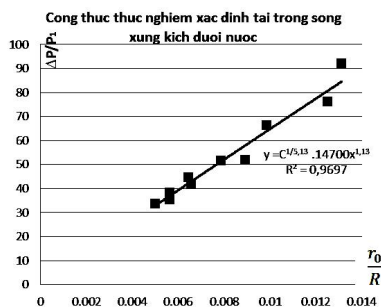
**Công thức thực nghiệm xác định  $\Delta P$**

Việc xây dựng công thức xác định  $\Delta P$  dựa trên các lý thuyết của Kedrinskiy, V. K., Cole, R. H., như đã trình bày ở trên và việc xử lý số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu. Qua các thí nghiệm tại hiện trường, các kết quả thu được cho thấy với các lượng nổ có khối lượng nhỏ hơn 1 kg thì áp lực sóng xung kích sinh ra phụ thuộc vào lượng nổ theo hàm mũ. Từ bảng 2, công thức xây dựng từ thí nghiệm nổ dưới nước tại Sơn Ca:

$$\frac{\Delta P}{P_1} = C_1 \cdot \frac{r_0}{R}^{1,13} \quad (13)$$

Ở đây:  $p_1$  là áp suất môi trường tại điểm xét;  $C_1$  là tỷ số của khối lượng lượng nổ và lượng nổ 1 kg;  $R$  là khoảng cách từ lượng nổ đến điểm xét;  $r_0$  là bán kính lượng nổ.

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa  $\Delta P/P_1$  và  $\frac{\sqrt[3]{C}}{R}$  theo hình sau:



**Hình 13.** Mối quan hệ giữa  $\Delta P/P_1$  và  $\frac{r_0}{R}$

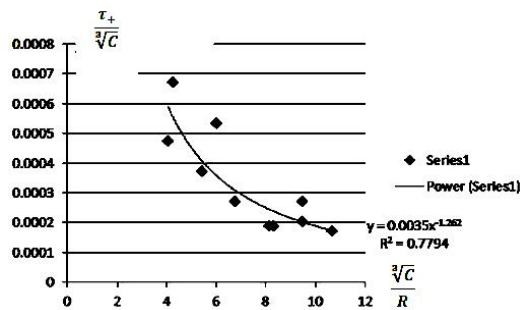
**Công thức thực nghiệm xác định thời gian duy trì tải trọng**

Tương tự như việc xác định  $\Delta P$ , từ bảng 4 và 5 nhận thấy, pha nén thứ hai xuất hiện với thời gian rất nhỏ và áp lực không đáng kể nên trong thí nghiệm tại Trường Sa chỉ xét đến pha nén thứ nhất.

Tương tự như trên, công thức xác định thời gian duy trì tải trọng thu được:

$$\tau_+ = 0,0035 \cdot \sqrt[3]{C} \left( \frac{R}{\sqrt[3]{C}} \right)^{-1,262} \quad (14)$$

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ thời gian duy trì tải trọng và  $\frac{\sqrt[3]{C}}{R}$  theo hình 14.



**Hình 14.** Biểu đồ mối quan hệ thời gian pha nén và  $\frac{\sqrt[3]{C}}{R}$

**KẾT LUẬN**

Các tham số xác định từ thực nghiệm ở trên có thể làm cơ sở so sánh với các công thức sẵn để có được đánh giá hợp lý trong việc sử dụng phương pháp tính toán đối với công tác thiết

kế. Công thức thực nghiệm xác định tải trọng cực đại và thời gian duy trì pha nén thu được trên đảo Sơn Ca là số liệu quý giá và quan trọng trong các nghiên cứu nổ dưới nước sau này. Hơn nữa, sự đặc biệt của các công thức còn thể hiện trong điều kiện thử nghiệm nổ trên quần đảo Trường Sa hiện nay gần như không thể thực hiện được do các yếu tố khó khăn về thiết bị, kỹ thuật và vấn đề địa chính trị của khu vực này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cole, R. H., 1948. Underwater explosions. Princeton UP.

2. Xalamakhin, T. M., 1967. Giáo trình hướng dẫn giải lý thuyết va đập nổ. Nxb. Matxcova (tiếng Nga).
3. Kedrinskiy, V. K., 2006. Hydrodynamics of Explosion: experiments and models. Springer Science & Business Media.
4. Vũ Đình Lợi, Tô Đức Thọ, Lê Anh Tuấn, Nguyễn Công Nghị, 6/2014. 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.

## ESTABLISHMENT OF EMPIRICAL FORMULAS FOR EVALUATING UNDERWATER SHOCK WAVES PARAMETERS IN SHALLOW SEA IN TRUONG SA ARCHIPELAGO

Vu Dinh Loi, To Duc Tho, Le Anh Tuan, Nguyen Cong Nghi

*Military Technical Academy (V2)*

**ABSTRACT:** Surface pressure of shockwave and duration of compression phase are characteristic parameters for solving underwater explosion problems. According to reported researches, they are often calculated in a general water environment and rarely practiced in the seawater due to difficult conditions. This paper presents the experimental results of the underwater explosions in shallow sea in Truong Sa Archipelago and establishes empirical formulas for these parameters.

**Keywords:** Pressure, time, underwater explosion, experiment, compression phase, formula, shock wave ...