

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ TRÊN MẶT SÓNG XUNG KÍCH DƯỚI NƯỚC Ở TRƯỜNG SA

ThS. TÔ ĐỨC THO  
 Học viện Kỹ thuật Quân sự

**B**ài toán nổ là một quá trình hóa lý phức tạp. Để giải các bài toán nổ trong các môi trường cần phải xác định được hệ phương trình mô tả các tham số của quá trình nổ đó. Khi nổ một lượng nổ thường diễn ra rất nhanh đi kèm với nó là việc tạo áp suất rất lớn, làm biến đổi môi trường xung quanh và các quá trình hóa lý với nó. Với lý thuyết trường nổ dưới nước thì ngoài giai đoạn đầu là quá trình bay tán của sản phẩm nổ thì quá trình thứ hai là chuyển động của nước giữa các bóng khí và các mặt sóng. Nhưng trong giai đoạn này bài toán đã tuyến tính hóa vì tốc độ sóng va đập thực tế bằng tốc độ âm thanh trong nước.

Nghiên cứu nổ dưới nước ngày nay nhờ ứng dụng công nghệ tính toán tiên tiến đã trở nên thuận lợi hơn trong xác định các tham số của quá trình nổ. Khi nổ dưới nước ngay lập tức tạo ra bóng khí, sản phẩm nổ và các loại sóng khác nhau... Để giải quyết triệt để bài toán nổ dưới nước gần như là điều không thể do tính phi tuyến và phức tạp của bài toán. Tuy nhiên, bằng việc xác định các phương trình tham số của quá trình nổ và các phương trình thực nghiệm thì các kết quả thu được sẽ trở nên chính xác hơn và sát với lý thuyết. Việc thiết lập được các phương trình của hệ nổ sẽ đưa ra được phương pháp tính chính xác. Từ đó, đưa ra các kết quả là tham số của nổ để làm đầu vào cho các bài toán nổ dưới nước khác.

Do vậy, nếu trong điều kiện cho phép thực hiện thí nghiệm thực tiễn, nghiên cứu lý thuyết về các tham số sóng xung kích của môi trường nổ dưới nước sẽ nâng cao được tính chính xác, tạo ra được các dữ liệu khoa học chính xác, tin cậy.

## 1. Hệ phương trình của sóng nổ dưới nước

### 1.1. Đặc tính của nước và đặc tính tải trọng nổ dưới nước

#### a. Đặc tính của nước

Trong lý thuyết nổ dưới nước, nước được coi là chất lỏng lý tưởng không chịu nén. Thực tế cho thấy, ở điều kiện khí quyển tiêu chuẩn, nhiệt độ 4

°C nước ngọt có mật độ lớn nhất là 1000 kg/m<sup>3</sup>. Nghiên cứu quá trình lan truyền nhiễu động trong nước, phương trình trạng thái được sử dụng để mô tả mối quan hệ giữa áp suất p và mật độ ρ, [2], [3], [4]:

$$p + B = (p_1 + B) \left( \frac{\rho}{\rho_1} \right)^n \quad (1)$$

Trong đó: B, n - Hằng số; B=0,31.10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>, n=7,15.  
 Tốc độ âm trong nước phải thỏa mãn, [2,3,4]:

$$a_1 = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{n(p_1 + B)}{\rho_1}}, \text{ m/s.} \quad (2)$$

Mặt khác, tốc độ âm trong nước còn có thể xác định theo công thức:

$$a_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

Trong đó: E<sub>0</sub> - Mô đun đàn hồi thể tích của nước.

Từ (2) và (3) ta có:

$$E_0 = n(p_1 + B) \quad (4)$$

Ngoài ra, tốc độ âm trong nước biển được xác định theo công thức thực nghiệm, [2,3,4]:

$$a = (1410 + 4,21 \cdot T - 0,037 \cdot T^2 + 1,14 \cdot S - 0,0175 \cdot h) \text{ m/s.} \quad (5)$$

Trong đó: T - Nhiệt độ của nước tại điểm xét, °C; S - Độ mặn của nước là số gam muối trong một lít nước, g/lít; h - Chiều sâu của điểm quan sát, m; ρ<sub>1</sub> - Mật độ nước khi chưa bị nhiễu động, kg/m<sup>3</sup>; p<sub>1</sub> - Áp suất khí quyển trên mặt nước, N/m<sup>2</sup>; p - Áp suất của nước khi đã nhiễu động, N/m<sup>2</sup>; ρ - Mật độ của nước khi đã bị nhiễu động, kg/m<sup>3</sup>.

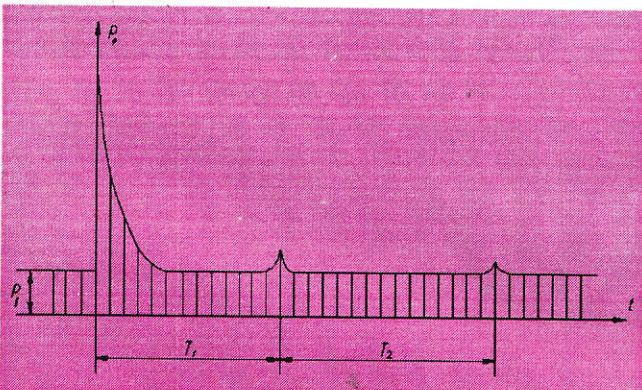
#### b. Đặc tính của tải trọng nổ dưới nước

Sau khi kích nổ lượng nổ hình cầu trong môi trường nước hình thành ngay một buồng khí sản phẩm nổ với áp suất rất lớn nén ép lớp nước xung quanh. Sự nén ép này được lan truyền từ lớp này đến lớp tiếp theo và làm hình thành sóng xung kích lan truyền trong nước. Sản phẩm nổ giãn nở và đẩy nước ra hình thành một lỗ rỗng gọi là bóng khí. Bóng khí tự dẫn nổ làm cho nước xung quanh chuyển động ra ngoài. Sự chuyển động của nước



được kéo dài đến khi áp suất trong bóng khí bằng áp suất thủy tĩnh ở điểm nổ, nhưng do quán tính nó vẫn tiếp tục chuyển động. Vì vậy áp suất trong bóng khí giảm nhỏ hơn áp suất thủy tĩnh, làm cho các phần tử nước chuyển động ngược về phía tâm bóng khí. Bóng khí bị nén lại đến một thể tích nhỏ nhất nào đó, sau đó lại tiếp tục giãn ra... Khối lượng riêng của bóng khí luôn nhỏ hơn khối lượng của nước, nên nó luôn bị áp lực thủy tĩnh của nước nâng lên phía bề mặt nước. Biên độ xung động của bóng khí giảm theo thời gian và khi nâng lên theo phương thẳng đứng bóng khí trở về trạng thái cân bằng thế rồi ra đến bề mặt tự do, vỡ ra và khuếch tán vào khí quyển.

Mỗi lần bóng khí giãn nở sẽ tạo ra sóng nén, ở mọi điểm cố định bất kỳ trong không gian sẽ quan sát thấy áp suất thay đổi có tính chu kỳ (H.1). Chu kỳ đầu tiên có ý nghĩa nhất trong công tác phá hủy, vì vậy các công trình nghiên cứu cơ bản chủ yếu tập trung công bố kết quả nghiên cứu ở chu kỳ này. Tham số áp suất và thời gian tác dụng nổ trên mặt sóng hoặc tham số tổng hợp xung nổ của sóng xung kích là cơ sở đầu vào cho nghiên cứu sóng nổ tương tác cơ học với chương ngại công trình hay nền đất.



H.1. Biểu đồ biến thiên áp suất tại một điểm cố định trong không gian khi mặt sóng xung kích đi qua

**2.2. Hệ phương trình sóng nổ dưới nước**

Hệ phương trình nổ trong các môi trường là hệ các ẩn số liên quan đến trạng thái về áp suất, tốc độ hạt và mật độ trên mặt sóng xung kích của môi trường. Để tìm hệ này thường dựa vào các định luật bảo toàn trong cơ học. Từ định luật bảo toàn khối lượng và xung lượng rút ra được các phương trình, [2, 3, 4]:

$$u_{\phi} = \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_{\phi}}\right) D \tag{6}$$

$$p_{\phi} - p_1 = \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_{\phi}}\right) \rho_1 \cdot D^2 \tag{7}$$

Do nước không biểu thị nội năng qua áp suất và mật độ nên không áp dụng được định luật bảo toàn năng lượng mà thay thế bằng biểu thức thực nghiệm [2], [3], [4]:

$$\frac{D}{a_1} = 1 + m \cdot \frac{u_{\phi}}{a_1} \tag{8}$$

Thay tham số  $q=(a_1/D)$  tương ứng vào các phương trình (6), (7), (8) rút ra được hệ các phương trình phụ thuộc theo  $q$  [2], [3], [4]:

$$\begin{cases} \frac{u_{\phi}}{a_1} = \frac{1-q}{mq} \\ \frac{p_{\phi}-p_1}{\rho_1 \cdot a_1^2} = \frac{1-q}{mq^2} \\ \frac{\rho_{\phi}}{\rho_1} = \frac{m}{m-1+q} \end{cases} \tag{9}$$

Trong đó:  $a_1$  - Đại lượng xác định theo (2) hoặc (5);  $u_{\phi}$ ,  $p_{\phi}$ ,  $\rho_{\phi}$  - Tương ứng là tốc độ hạt, áp suất, mật độ trên mặt sóng xung kích;  $D$  - Tốc độ mặt sóng xung kích;  $p_1$ ,  $\rho_1$  - Áp suất và mật độ của môi trường nước xung quanh;  $m$  - Hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào  $t$  môi trường, với nước  $m \approx 2$ .

Hệ phương trình (9) xác định các tham số trên mặt sóng xung kích khi phải biết qui luật biến đổi của tốc độ mặt sóng xung kích hoặc trị số  $q=(a_1/D)$  theo khoảng cách. Sóng xung kích hình cầu qui luật đó có thể xác định trên cơ sở các công thức thực nghiệm [2], [3], [4]:

$$\begin{cases} \frac{r_{\phi}}{r_0} = 1,3 \left( \frac{q^2}{1-q} \right)^{0,885} \\ q = 0,37 \left( \frac{r_{\phi}}{r_0} \right)^{1,13} \left[ \sqrt{1 + 5,4 \left( \frac{r_0}{r_{\phi}} \right)^{1,13}} - 1 \right] \end{cases} \tag{10}$$

Công thức (10) phù hợp trong khoảng  $r_{\phi}/r_0 > 10$  với  $r_{\phi}$  và  $r_0$  lần lượt là bán kính mặt sóng xung kích và bán kính lượng nổ.

Từ (9) và (10) đã xác định hệ phương trình và giải được đầy đủ các tham số trên mặt sóng xung kích hình cầu khi nổ trong nước. Giải (9) theo (10) thì nhận được công thức xác định áp suất trên mặt sóng xung kích như là một hàm của khoảng cách tương đối  $r_{\phi}/r_0$  [2], [3], [4]:

$$\frac{p_{\phi}-p_1}{\rho_1} = 14700 \left( \frac{r_0}{r_{\phi}} \right)^{1,13} \tag{11}$$

Với lượng nổ dài trên khoảng cách  $r_{\phi}/r_0 > 12$  thì hệ số trong (11) là 15700.

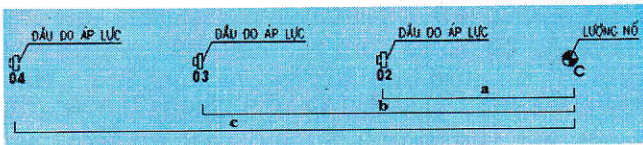
**3. Thí nghiệm thực tế và tính toán theo lý thuyết nổ các tham số trên mặt sóng xung kích tại Trường Sa**



**3.1. Thí nghiệm nổ tại Trường Sa**

Thử nghiệm nổ thực tế trên đảo Sơn Ca được tiến hành vào đầu tháng 6 năm 2013 trong khuôn khổ đề tài cấp nhà nước KC-09.06/11-15, việc tiến hành nổ dưới nước biển với nhiều lượng nổ TNT khác nhau được chia làm 3 loại: 200 g; 400 g và 600 g. Khu vực thí nghiệm có mực nước sâu khoảng 1,5÷1,7 m; lượng nổ được bố trí cách mặt thoáng khoảng 1 m. Thiết bị đo kết nối với máy tính để thu được các tham số trên mặt sóng là SCXI LI-1000DC và đầu đo áp lực PCB-138A.

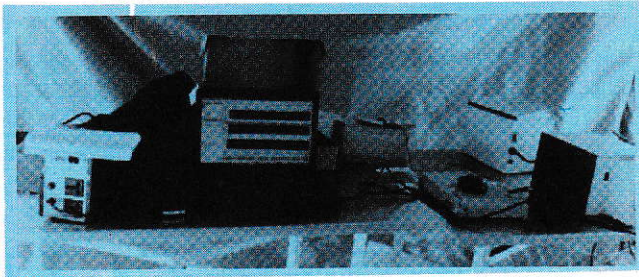
Sơ đồ bố trí thí nghiệm được thể hiện trong H.2 và H.3.



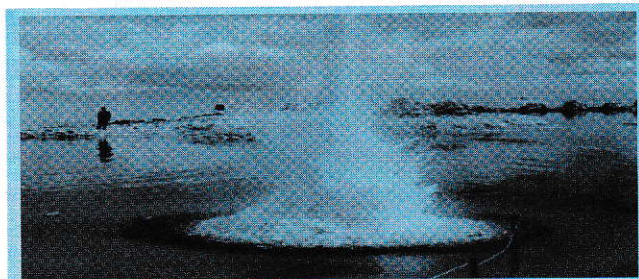
H.2. Sơ đồ thí nghiệm



H.3. Tác giả bố trí thiết bị và lượng nổ



H.4. Thiết bị xử lý số liệu thí nghiệm



H.5. Các vụ nổ thí nghiệm đều thành công

Sơ đồ thí nghiệm tính tại 3 đầu đo, khoảng cách đến lượng nổ trong các thí nghiệm lần lượt là a, b, c. Tuy nhiên, thực tế còn một đầu đo được lấy làm giá trị gốc để làm căn cứ để tính. Trong nghiên cứu

này, tác giả giới thiệu kết quả của 6 thí nghiệm, bao gồm:

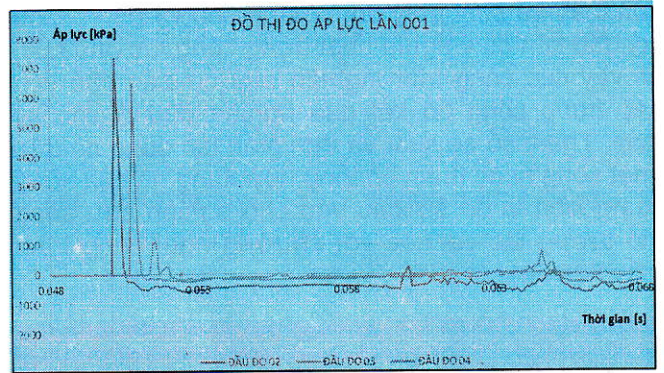
- ❖ Thí nghiệm 1 và 2: Nổ hai lần, mỗi lần một lượng nổ 200 g cách các đầu đo lần lượt là 1,5 m; 2,5 m và 3,5 m;

- ❖ Thí nghiệm 3 và 4: Nổ hai lần, mỗi lần một lượng nổ 400 g cách các đầu đo lần lượt là 5 m, 6 m và 7 m;

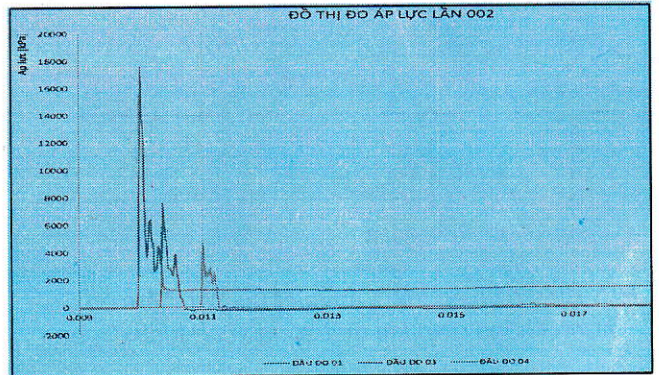
- ❖ Thí nghiệm 5 và 6: Nổ hai lần, mỗi lần một lượng nổ 600 g cách các đầu đo lần lượt là 7 m, 8 m và 9 m.

**3.2. Kết quả thí nghiệm**

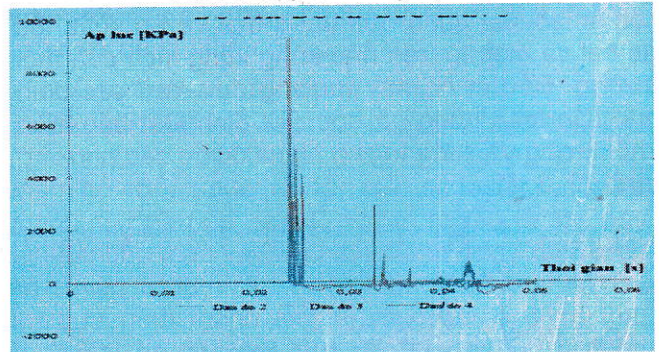
Biểu đồ áp suất sóng xung kích theo thời gian của các thí nghiệm 1÷6 được thể hiện theo các hình H.6÷H.11, [1].



H.6. Kết quả thí nghiệm 1

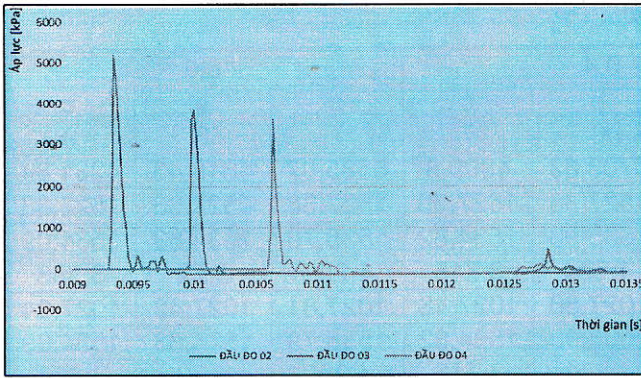


H.7. Kết quả thí nghiệm 2

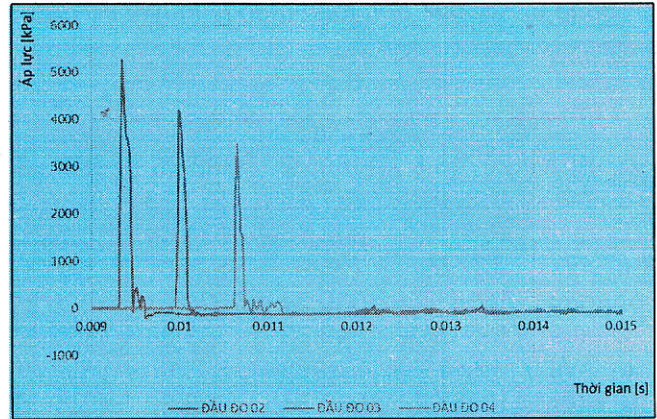


H.8. Kết quả thí nghiệm 3

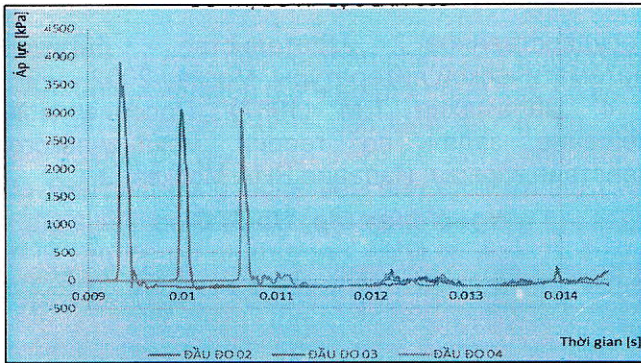




H.9. Kết quả thí nghiệm 4



H.11. Kết quả thí nghiệm 6



H.10. Kết quả thí nghiệm 5

Tổng hợp kết quả áp lực lớn nhất ở các lần thí nghiệm và thời gian đo tương ứng tại các đầu đo được cho trong các Bảng 1 và Bảng 2. Kết quả tính tốc độ truyền sóng trong nước được cho trong Bảng 2.

**3.3. Tính toán lý thuyết về bài toán nổ trên**

Với các sơ đồ bài toán như ở trên thì ta có các thông số:  $m=0,2; 0,4$  và  $0,6$  kg,  $h=1$  m;  $r_0$  đối với lượng nổ 200 g là 1,5 m; 2,5 m và 3,5 m; với lượng nổ 400 g là 5 m; 6 m và 7 m, và đối với lượng nổ 600 g là 7 m; 8 m và 9 m.

Bảng 1. Kết quả đo áp lực từ thí nghiệm [1]

TT	Đầu đo 02			Đầu đo 03			Đầu đo 04		
	P, kPa	t, s	a, m	P, kPa	t, s	b, m	P, kPa	t, s	c, m
TN1	7350,2	0,0502	1,5	6511,3	0,0508	2,5	1095,7	0,0516	3,5
TN2	11302	0,025	1,5	7275,7	0,0256	2,5	5588,8	0,0263	3,5
TN3	3119,4	0,01	7	4757,3	0,0094	6	5879,8	0,0087	5
TN4	5159,6	0,0093	5	3840,5	0,01	6	3618,4	0,0106	7
TN5	3893,8	0,0093	7	3065,7	0,01	8	3071,9	0,0106	9
TN6	5274,2	0,0094	7	4174,8	0,01	8	3471	0,0107	9

Bảng 2. Tính toán tốc độ truyền sóng trong nước [1]

TT	02	03	04	$V_1, \text{ m/s}$		$V_2, \text{ m/s}$		$V_3, \text{ m/s}$		$V_{ts}, \text{ m/s}$
	t, s	t, s	t, s	02-03 (L=1 m)	03-04 (L=1 m)	03-04 (L=1 m)	01-04 (L=2 m)	01-04 (L=2 m)		
TN1	0.0502	0.0508	0.0516	1666.67	1250.00	1250.00	1428.57	1428.57	1538,29	
TN2	0.0250	0.0256	0.0263	1666.67	1538.46	1538.46	1600.00	1600.00		
TN3	0.0100	0.0094	0.0087	1612.90	1515.15	1515.15	1562.50	1562.50		
TN4	0.0093	0.0100	0.0106	1515.15	1562.50	1562.50	1538.46	1538.46		
TN5	0.0093	0.0100	0.0106	1515.15	1562.50	1562.50	1538.46	1538.46		
TN6	0.0094	0.0100	0.0107	1562.50	1515.15	1515.15	1538.46	1538.46		

Thời điểm thực hiện các thí nghiệm dưới nước tại đảo thì nhiệt độ nước biển khoảng  $28^\circ\text{C}$ , độ sâu đặt lượng nổ 1m, lượng muối 25 g/1000 ml. Thay các tham số đã biết vào các phương trình (5) đến (11) và dùng phần mềm MS-Excel ta thu được kết quả theo Bảng 3.

Từ kết quả thí nghiệm thực tế Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3 (tính theo lý thuyết) ta có các tham số trên mặt sóng xung kích:

❖ Tốc độ âm thanh nước biển tính trung bình trong thí nghiệm và theo lý thuyết:  $a_{tbn}=1527,29$  m/s và  $a_{tbt}=1527,38$  m/s, độ sai lệch: 0,09 m/s;



Bảng 3. Kết quả tính toán theo lý thuyết nổ dưới nước

m (kg)	0,2			0,4			0,6		
r (m)	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	1,5	2,5	3,5	5	6	7	7	8	9
$p_{\phi}$ , KPa	20743,5	11695,2	8031,5	6983,3	5703,83	4809,8	5585,07	4818,43	4231,84
$a_1$ , m/s	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38	1527,38
D, m/s	1554,50	1543,38	1538,84	1537,53	1535,93	1534,82	1535,79	1534,83	1534,09
$u_{\phi}$ , m/s	13,559	7,999	5,726	5,073	4,274	3,715	4,200	3,72	3,353
$\rho_{\phi}$ , kg/m <sup>3</sup>	1034,02	1030,34	1028,83	1028,39	1027,86	1027,48	1027,81	1027,49	1027,24
D, m/s	1554,50	1543,38	1538,84	1537,53	1535,93	1534,82	1535,79	1534,83	1534,09
$u_{\phi}$ , m/s	13,559	7,999	5,726	5,073	4,274	3,715	4,200	3,72	3,353
$\rho_{\phi}$ , kg/m <sup>3</sup>	1034,02	1030,34	1028,83	1028,39	1027,86	1027,48	1027,81	1027,49	1027,24

❖ Tốc độ hạt tùy thuộc vào lượng nổ và khoảng cách từ tâm nổ đến điểm quan sát;

❖ Mật độ hạt trung bình tính theo lý thuyết:  $\rho_{\phi}=1143,032 \text{ kg/m}^3$ .

Áp suất trên mặt sóng xung kích căn cứ theo từng thí nghiệm có độ sai lệch nhất định. Tuy nhiên, sự sai lệch đều có thể chấp nhận được do sự sai khác không quá lớn giá trị cho phép.

**4. Kết luận**

Các bài toán liên quan nổ trên thực tế cho thấy đều rất phức tạp và đòi hỏi số lượng tính toán lớn. Các tham số trên mặt sóng xung kích là đầu vào cho các tính toán thiết kế sơ bộ của công trình liên quan đến nổ. Do vậy, việc kết hợp các tính toán và thực nghiệm là rất cần thiết và nếu điều kiện cho phép thì các thí nghiệm đo đạc nổ sẽ làm cho bài toán trở nên chính xác và có độ tin cậy cao. Thí nghiệm nổ tại hiện trường không phải lúc nào cũng có điều kiện để thực hiện do nhiều nguyên nhân về kinh tế, an toàn và độ phức tạp của vấn đề nghiên cứu. Các thí nghiệm được thực hiện tại đảo Sơn Ca trong môi trường nổ dưới nước, có nền đáy là san hô bão hòa nước. Các số liệu tính toán, thực nghiệm trong nghiên cứu có độ chính xác, tin cậy cao và có thể làm dữ liệu đầu vào cho các nghiên cứu khác. Ngoài ra, nghiên cứu cho thấy thiết bị thực hiện thí nghiệm, dữ liệu đo đạc nổ ở nước ta còn ít, đặc biệt khu vực Trường Sa nơi các thí nghiệm nổ cũng rất hiếm khi được thực hiện và hiện tại rất cần các số liệu đo đạc nổ phục vụ cho phát triển kinh tế, quốc phòng an ninh của đất nước. □

**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. Hồ Sĩ Giao, Đàm Trọng Thắng, Lê Văn Quyền, Hoàng Tuấn Chung (2010). Nổ hóa học, lý thuyết và thực tiễn. Nhà xuất bản KHKT.
3. Орленко. Л.П, Шехтер Б.И. Физика взрыва.

Государственное издательство физико-математической литературы, Москва 2002.

4. Саламахин Т.М (1967). Пособие для решение задач по теории механического действия взрыва, Издание ВИА Москва. □

**Người biên tập: Hồ Sĩ Giao**

**SUMMARY**

The parameters of a fixed point in front of underwater explosion shock wave are original datas in prime design structure or weapons underwater task. If all things of it are ideal conditions, solving explosion becomes to complete when theoretical study combines with experimental explosion. Here and now, the things concerning with island and sea are very invested from our government so it is needed a lot of basic researchs for development researchs late. This paper shows the experimental under sea explosion study and determines parameters in front of shock wave for other research fields.

**ĐỀ NGHỊ**

1. Tôi nhắm mắt để nhìn cho rõ hơn. *Paul Gauguin.*
2. Mình sẽ nhanh chóng tiến về phía trước, từng bước mình phải hơn chính mình ngày hôm qua. *Yahita Kenshin.*
3. Xây dựng thành công từ thất bại. Sự chán nản và thất bại là hai bước đệm chắc chắn nhất dẫn tới thành công. *Dale Carnegie.*

**VTH sưu tầm**