

# NGHIÊN CỨU TƯƠNG TÁC CỦA SÓNG NỔ DƯỚI NƯỚC VỚI CHƯỚNG NGẠI CÓ DẠNG HÌNH CẦU

GS.TS. VŨ ĐÌNH LỢI, PGS.TS. ĐÀM TRỌNG THẮNG,  
ThS. TÔ ĐỨC THỌ - Học viện Kỹ thuật Quân sự

**T**rên cơ sở nghiên cứu lý thuyết tương tác của sóng nổ phẳng tác dụng lên chướng ngại dưới nước ở dạng tổng quát, bài báo đã nghiên cứu phân tích, thử nghiệm số để khảo sát qui luật biến đổi của áp suất tác dụng lên chướng ngại cầu theo thời gian và không gian của sóng tới, sóng nhiễu xạ và tổng hợp tác dụng của hai sóng làm cơ sở cho công tác thiết kế công trình chống tác dụng của tải trọng nổ.

## 1. Tổng quan

Nghiên cứu về nổ đối với các nhà khoa học trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng luôn là vấn đề khoa học phức tạp do độ khó được tích lũy từ nhiều ngành khoa học tự nhiên khác. 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. Tuy nhiên, do sóng nổ được coi là một dạng tải trọng đặc biệt, có cường độ lớn và diễn ra rất nhanh, các tác động của sóng nổ lên đối tượng thường là phá hủy hoặc gây biến dạng lớn nên các bài toán phần nhiều là phi tuyến và khó giải. Một số bài toán nổ nếu không có các giả thiết đi kèm thì hầu như không thể giải được [4].

Bài toán tương tác sóng nổ đối với chướng ngại trong môi trường xung quanh luôn là vấn đề gây cản trở cho tính toán, thiết kế liên quan đến nổ. Tương tác của sóng nổ dưới nước với chướng ngại có hình dạng nhất định nằm trong khu vực tác động của nó trước đây cũng đã được nhắc đến trong các mô hình toán học... Tuy nhiên việc giải được nó là điều gần như không thể nếu không có các điều kiện đi kèm. Với sự phát triển của máy tính trong những năm vừa qua, đặc biệt là các phần mềm tính toán đã giúp cho các bài toán phức tạp trước đây đã có lời giải hợp lý, nâng cao được hiệu quả tính toán, thiết kế nổ. Tải trọng nổ dưới nước thậm chí cũng đã được mô phỏng trên máy tính qua các phần mềm chuyên dụng [2].

Thời gian qua, vấn đề biển đảo 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 [3]. 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.

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

### 2.1. 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 H.1). Giả sử sóng phẳng lan truyền theo phương z, áp lực và tốc độ hạt chất lỏng trong sóng tới cho trước dưới dạng [4]:

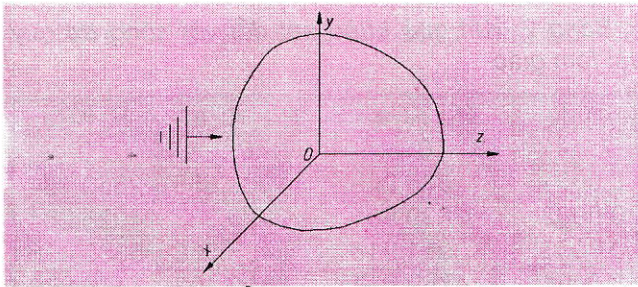
$$\begin{aligned} p_{st}(z,t) &= P_m \cdot f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \\ v_{st}(z,t) &= \frac{P_m}{a_0 \rho_0} \cdot f\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \cdot \sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó:  $\sigma_0[t - (z/a_0)]$  (hình H.2) là hàm sóng đơn vị đặc trưng bởi:

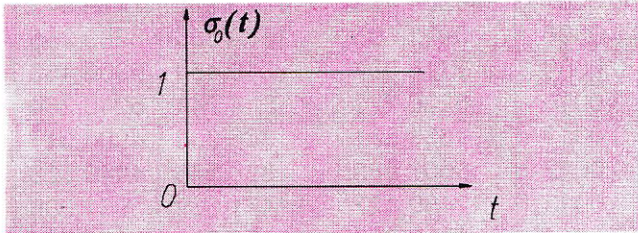
$$\sigma_0\left(t - \frac{z}{a_0}\right) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t < \frac{z}{a_0} \\ 1 & \text{khi } t > \frac{z}{a_0} \end{cases} \quad (2)$$

Tại đây:  $a_0$  - Tốc độ âm trong môi trường;  $\rho_0$  - Mật độ môi trường;  $P_m$  - Áp suất sóng xung kích trên bề mặt;  $t$  - Thời gian sóng truyền trên vật thể;  $z$  - Phương truyền sóng gắn với gốc tọa độ đặt trên vật thể.





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 vật thể khi sóng bị nhiễu xạ sẽ là tổng của hai thành phần:

$$F(t) = F_{st}(t) + F_{nx}(t) \quad (3)$$

Trong đó:  $F_{st}(t)$  - Tải trọng sóng tới;  $F_{nx}(t)$  - Tải

❖ Phát xạ sóng ở vô cùng (xa vật thể):  $\varphi \rightarrow 0$  khi  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \rightarrow \infty$

$$F_{nx}(t) = Q(0) \cdot \Psi(t) + \int_0^t \dot{Q}(t - \tau) \cdot \Psi(\tau) \cdot d\tau = Q(t) + \int_0^t Q(t - \tau) \cdot \dot{\Psi}(\tau) \cdot d\tau \quad (9)$$

Trong đó:  $Q(t) = a_0 \cdot \rho_0 \iint_S v_{st} \cdot \cos^2 n_z dS = P_m \iint_S f(t - z/a_0) \cdot \sigma_0(t - z/a_0) \cdot \cos^2 n_z dS \quad (10)$

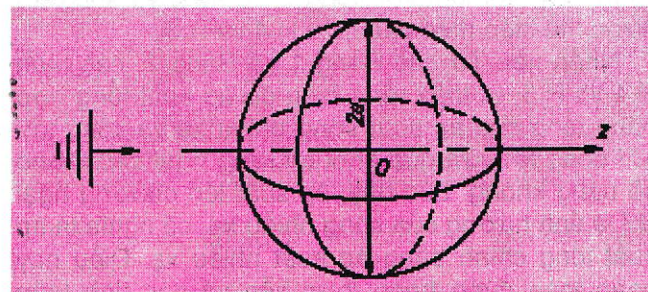
$\Psi(t)$  là hàm số kể đến ảnh hưởng của nhiễu xạ.  $\Psi(t)$  và khối lượng kết hợp  $M_{st}$  có liên hệ sau:

$$M_{st} = (F_0 \cdot a/a_0) \int_0^\infty \Psi(\tau) \cdot d\tau \quad (11)$$

$M_{st}$ ,  $F_0$  phụ thuộc vào hình dạng của vật thể.

### 2.2. Tương tác sóng nổ lên vật thể dạng hình cầu

Xét hệ tọa độ hình cầu được thiết lập ở tâm của một chướng ngại cầu. Các góc sẽ được tính từ nửa đường thẳng xuất phát ra từ tâm của hình cầu sang hai bên theo hướng ngược lại với phương truyền của sóng.



H.3. Sóng nổ dưới nước tương tác với chướng ngại hình cầu

trọng gây ra do sóng phản xạ và nhiễu xạ.

Các hàm trên được xác định theo các công thức sau [4]:

$$F_{st}(t) = -P_m \iint_{S_1} f(t - z/a_0) \cdot \cos n_z dS \quad (4)$$

$S_1$  là một phần bề mặt vật thể nằm trong vùng  $z \leq (a_0 \cdot t)$ :

$$F_{nx} = -\iint_S P_{nx}(x, y, z, t) \cdot \cos n_z dS = \rho_0 \iint_S \frac{d\varphi}{dt} \cdot \cos n_z dS \quad (5)$$

Trong đó:  $\cos n_z$  - Góc tạo bởi phương pháp tuyến bề mặt vật thể và trục z;  $\varphi$  - Thế năng vận tốc;  $P_{nx}$  - Thành phần sóng nhiễu xạ và phản xạ.

Thế tốc độ  $\varphi$  thỏa mãn phương trình sóng [4]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (6)$$

Các điều kiện biên:

❖ Trên bề mặt vật thể, tốc độ hạt chất lỏng theo phương pháp tuyến với bề mặt vật thể bằng 0:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} + v_{st} \cdot \cos n_z = 0 \text{ hay} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = -\frac{P_m}{a_0 \cdot \rho_0} \cdot f(t - z/a_0) \cdot \sigma_0(t - z/a_0) \cdot \cos n_z \quad (8)$$

Các quá trình sóng trong hệ tọa độ cầu có tính đối xứng và không phải là một hàm của góc  $\varphi$ . Từ (6) ta được phương trình sóng đối với hình cầu:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \cdot \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0 \quad (12)$$

Đối với chướng ngại có dạng hình cầu, chúng ta có các kết quả cụ thể như sau:

❖ Thành phần do sóng tới:

$$F_{st}(\bar{t}) = \begin{cases} \pi a^2 (2\bar{t} - \bar{t}^2) & \text{khi } \bar{t} < 2 \\ 0 & \text{khi } \bar{t} \geq 2 \end{cases} \quad (13)$$

❖ Thành phần do sóng phản xạ và nhiễu xạ:

$$F_{st}(\bar{t}) = \frac{2}{3} \pi a^2 \begin{cases} \frac{5}{4} + (\bar{t}-1)^3 - \bar{t} - \frac{(\bar{t}-1)^4}{4} & \text{khi } \bar{t} < 1 \\ (\bar{t}-1)^3 - \frac{(\bar{t}-1)^4}{4} - \frac{(\bar{t}-2)^4}{4} & \text{khi } 1 < \bar{t} < 2 \\ -\bar{t} + 3 - \frac{1}{4} - \frac{(\bar{t}-2)^4}{4} & \text{khi } 2 < \bar{t} < 3 \\ 0 & \text{khi } 3 < \bar{t} \end{cases} \quad (14)$$



Trong đó: a - Bán kính hình cầu;  $\bar{t} = (a_0 t/a)$ .

Nếu ký hiệu  $F_0(t)$  là đặc trưng thủy động có được từ lời giải bài toán nhiễu xạ đối với sóng đơn vị  $\sigma_0(t)$ , có nghĩa là khi biết được quy luật hàm sóng tác dụng lên chướng ngại, ta sẽ xác định được phân bố áp lực lên nó theo tích phân Duamen (công thức Simpson) [5]:

$$F(t) = \int_0^t F_0(t-\tau) dP_T(\tau) \quad (15)$$

### 3. Thử nghiệm số để khảo sát và tính toán tải trọng sóng nổ lên chướng ngại có dạng hình cầu

#### 3.1. Bài toán

Khảo sát bài toán với sóng tới đơn vị và sóng tới có quy luật tam giác  $p(t) = p_{max}(1-t/\tau)$  (kPa) (thu được từ thí nghiệm thực hiện trong môi trường nước biển ở Trường Sa [1], [4]).

Số liệu đầu vào:

❖ Tốc độ truyền sóng trong môi trường thí nghiệm  $a_0 = 1535$  m/s (thu được từ các thí nghiệm [1], [4]);

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

t (s)	$P_{st}$ , KPa	$P_{nx}$ , KPa	P, KPa
0	0	0	0
0,0001	1,014	0,879	1,893
0,0002	1,880	1,391	3,271
0,0003	2,598	1,609	4,207
0,0004	3,167	1,600	4,767
0,0005	3,589	1,424	5,013
0,0006	3,863	1,138	5,001
0,0007	3,988	0,792	4,781
0,0008	3,9659	-0,458	3,508
0,0009	3,7954	-0,212	3,583
0,0010	3,4769	0,003	3,480
0,0011	3,0103	0,244	3,254
0,0012	2,3957	0,557	2,953
0,0013	1,6331	0,977	2,610
0,0014	0,7224	1,529	2,251
0,0015	0	1,889	1,889
0,0016	0	1,527	1,527
0,0017	0	1,170	1,170
0,0018	0	0,828	0,828
0,0019	0	0,517	0,517
0,0020	0	0,256	0,256
0,0021	0	0,074	0,074
0,0022	0	0	0
0,0023	0	0	0
...	...	...	...
0,0030	0	0	0

Bảng 2. Kết quả khảo sát đối với sóng tới quy luật tam giác

t (s)	$P_{st}$ , KPa	$P_{nx}$ , KPa	P, KPa
0	0	0	0
0,0001	1526,929	1323,855	2850,784
0,0002	2830,901	2095,383	4926,284
0,0003	3911,916	2423,560	6335,476
0,0004	4769,974	2409,102	7179,076
0,0005	5405,075	2144,471	7549,545
0,0006	5817,218	1713,868	7531,086
0,0007	6006,405	1193,238	7199,643
0,0008	5972,635	-689,380	5283,255
0,0009	5715,907	-319,454	5396,453
0,0010	5236,223	4,041	5240,264
0,0011	4533,581	366,936	4900,517
0,0012	3607,983	838,545	4446,528
0,0013	2459,427	1471,669	3931,096
0,0014	1087,914	2302,591	3390,505
0,0015	0	2844,535	2844,535
0,0016	0	2299,387	2299,387
0,0017	0	1761,938	1761,938
0,0018	0	1247,073	1247,073
0,0019	0	777,938	777,938
0,0020	0	385,936	385,936
0,0021	0	110,728	110,728
0,0022	0	0,231	0,231
0,0023	0	0	0
...	...	...	...
0,0030	0	0	0

- ❖ Khoảng thời gian khảo sát  $t = 0,003$  s;
- ❖ Số điểm thời gian khảo sát:  $n = 31$ .
- ❖ Sóng tới dạng tam giác có  $p_{max} = 1506$  KPa,  $\tau = 0,0001$  s;
- ❖ Bán kính cầu  $r = 1,128$  m.

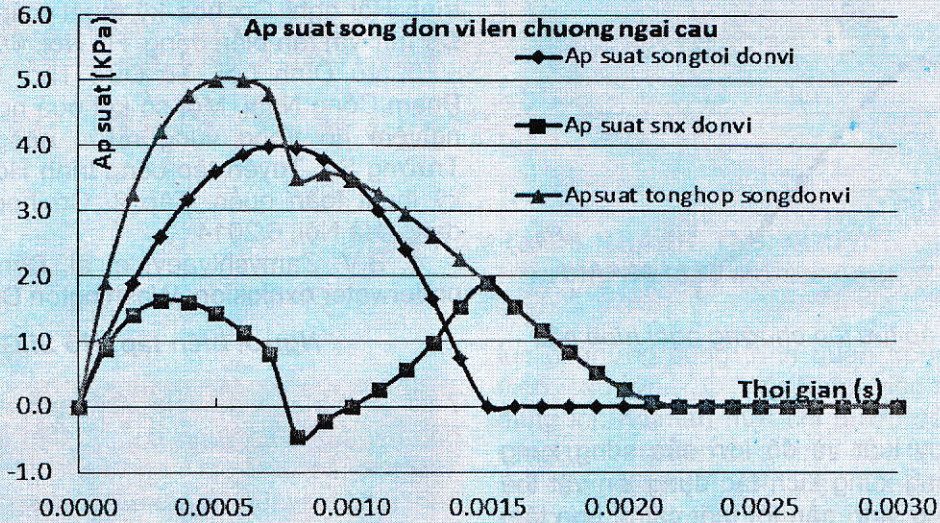
#### 3.2. Kết quả

Sử dụng phần mềm VBS thiết lập chương trình tính với các cơ sở dữ liệu như trên ta thu được các kết quả theo các Bảng giá trị 1 và 2 và các hình H.4, H.5 và H.6. Đồ thị phân bố áp suất tại các thời điểm khảo sát đối với sóng tới đơn vị và sóng tới được thể hiện theo các hình H.4 và H.5.

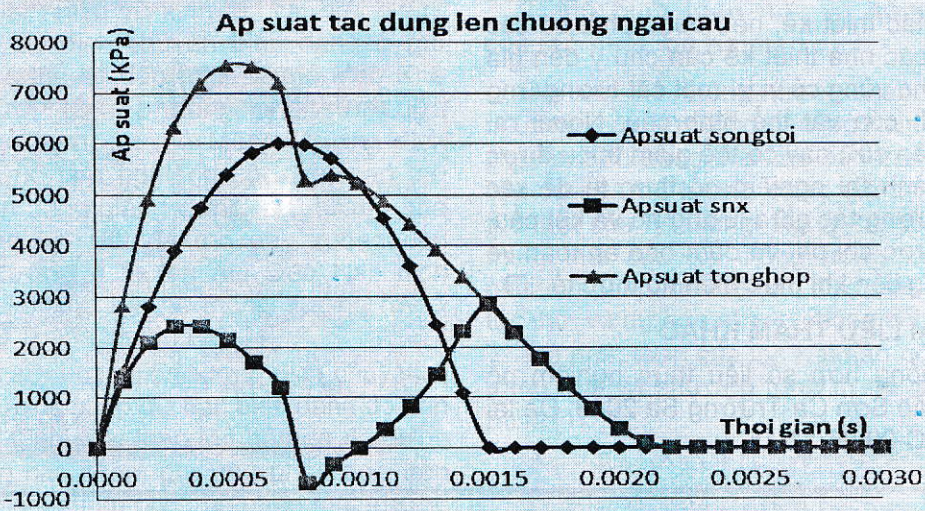
Nhận xét: Từ các Bảng 1 và Bảng 2, các hình H.4 và H.5, ta thấy rằng biểu đồ áp suất tổng hợp bằng tổng của áp suất sóng nhiễu xạ và sóng tới. Khi sóng tới vừa qua khỏi chướng ngại cầu thì nó sẽ bằng không. Lúc này, áp suất lên chướng ngại chỉ là ảnh hưởng của sóng nhiễu xạ, có nghĩa là áp suất tổng chính bằng áp suất nhiễu xạ. Điều này hoàn toàn đúng trong thực tiễn và các tính toán theo chương trình. Từ kết quả tính toán bằng thử nghiệm số, ta cũng xác định được sự phân bố áp



lực theo vị trí truyền sóng của sóng xung kích đối với chướng ngại cầu.



H.4. Đồ thị phân bố áp suất đối với sóng đơn vị lên chướng ngại cầu



H.5. Đồ thị phân bố áp suất đối với sóng đơn vị lên chướng ngại cầu

Bảng 3. Phân bố áp lực theo vị trí truyền sóng lên cầu

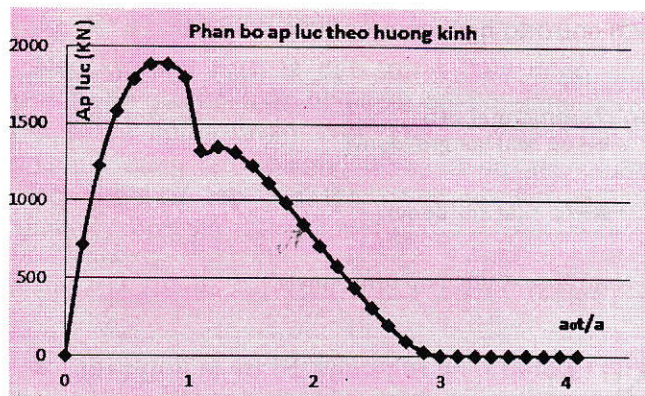
P (KN)	0	713,18	1232,4	1584,9	1796	1888,7	1884	1801,1	1321,7	1350
a0t/a	0	0,14	0,27	0,41	0,54	0,68	0,82	0,95	1,09	1,22
P (KN)	1310,95	1226	1112,4	983,44	848,20	711,61	575,23	440,78	311,98	194,62
a0t/a	1,36	1,50	1,63	1,77	1,91	2,04	2,18	2,31	2,45	2,59
P (KN)	96,55	27,7	0,06	0	0	0	0	0	...	0
a0t/a	2,72	2,86	2,99	3,13	3,27	3,4	3,54	3,67	...	4,08

Đồ thị phân bố áp lực lên chướng ngại cầu theo hình H.6.

Nhận xét: Với số liệu tính toán ở trên thì khi sóng truyền được khoảng 0,0005 giây, tương ứng với vị trí 0,77 m tính từ khi mặt sóng tương tác thì

áp lực đạt giá trị cực đại. Điều này có được là do kết hợp tác động cùng chiều từ sóng tới và nhiễu xạ. Qua vị trí này, áp lực giảm dần và qua khỏi vật thể áp lực bị triệt tiêu. Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tiễn và các kết quả tính toán.





H.6. Phân bố áp lực lên chướng ngại hình cầu

5. Kết luận

Tùy thuộc quy luật và độ lớn của sóng xung kích, áp suất sóng xung kích tác dụng lên vật thể cầu lớn nhất khi ở vị trí gần tới mặt cắt đi qua tâm của hình cầu và vuông góc với hướng truyền sóng, vì tác động lúc này là tổng của sóng tới và nhiễu xạ. Trong công tác thiết kế, nếu buộc phải có các kết cấu cầu thì các nhà thiết kế cần chú ý đến gia cường độ bền cho vùng có vị trí mặt cắt tương ứng với 1/3 bán kính của vật thể hình cầu. Ngoài ra, căn cứ vào nghiên cứu này có thể giảm thiểu được việc phải tiến hành thí nghiệm nổ thực tế để xác định khả năng tương tác giữa lượng nổ và kết cấu, giúp tiết kiệm được chi phí và đảm bảo an toàn về người và phương tiện khi thực hiện nổ thực tế. □

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, 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.

3. 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.

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

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

SUMMARY

The paper shows the results of mutual action of blasting ware under water with barricade of sphere form.

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

1. Dừng những nghi ngờ, hãy thực hiện từng bước nhỏ trong kế hoạch dài bạn đã vạch ra. Regina Brett.

2. Kẻ ngu dốt có học ngu dốt hơn người vô học nhiều. Benjamin Franklin.

3. Logic sẽ đưa anh từ điểm A tới điểm B. Trí tưởng tượng sẽ đưa anh tới mọi nơi. Thomas Edison.

VTH sưu tầm

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG...

(Tiếp theo trang 25)

4. Nguyễn Quốc Long, 2010. Nghiên cứu dự báo các thông số dịch chuyển và biến dạng mặt đất do ảnh hưởng của quá trình khai thác hầm lò. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật. Đại học Mỏ-Địa chất. Hà Nội.

5. Đinh Xuân Vinh, 2012. Nghiên cứu phương pháp quan trắc, xử lý số liệu và phân tích biến dạng công trình công nghiệp-dân dụng trong điều kiện Việt Nam. Luận án tiến sĩ kỹ thuật.

6. Bao Huan, 2009. Nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng hệ thống quan trắc biến dạng thời gian thực của các công trình lớn. Luận án tiến sĩ, tiếng Trung Quốc.

7. WU Zi'an. Báo cáo phân tích biến dạng động. Đại học khoa học kỹ thuật Trắc hội Vũ Hán, 1991(4), tr. 45-48.

Người biên tập: Trần Văn Trạch

SUMMARY

Kalman filter model has been widely used in field of data processing in the world. In Vietnam, the study and application of this model on civil surveying in general and on mine surveying in particular is still a new issue. This paper presents the theoretical of the Kalman filter and applied it to predict subsidence of some observation points on mine surface. The results shows the reliability of the method.