

## TÍNH LÝ THUYẾT TRƯỜNG SÓNG ĐỊA CHẤN TRONG VĨA THAN TRÊN MÔ HÌNH TOÁN

NGUYỄN ĐỨC VINH, NGUYỄN CÔNG THẮNG

**Abstract.** This paper presents algorithms and results of calculation of seismic wave field in mine layer on mathematical models.

### I - HIỆN TƯỢNG ỚNG DẪN SÓNG

Trong vật lý và địa vật lý hiện tượng ống dẫn sóng hay sóng kênh đã được phát hiện từ lâu. Hiện tượng này xảy ra khi sóng đàn hồi truyền trong môi trường có tốc độ truyền sóng thấp nằm kẹp giữa một trường vật chất có tốc độ truyền sóng lớn hơn. Giả sử sóng truyền từ môi trường  $W_1$  sang môi trường  $W_2$  có tốc độ truyền sóng (sóng dọc) tương ứng là  $V_1$  và  $V_2$ . Theo định luật phản xạ khúc xạ [1]:

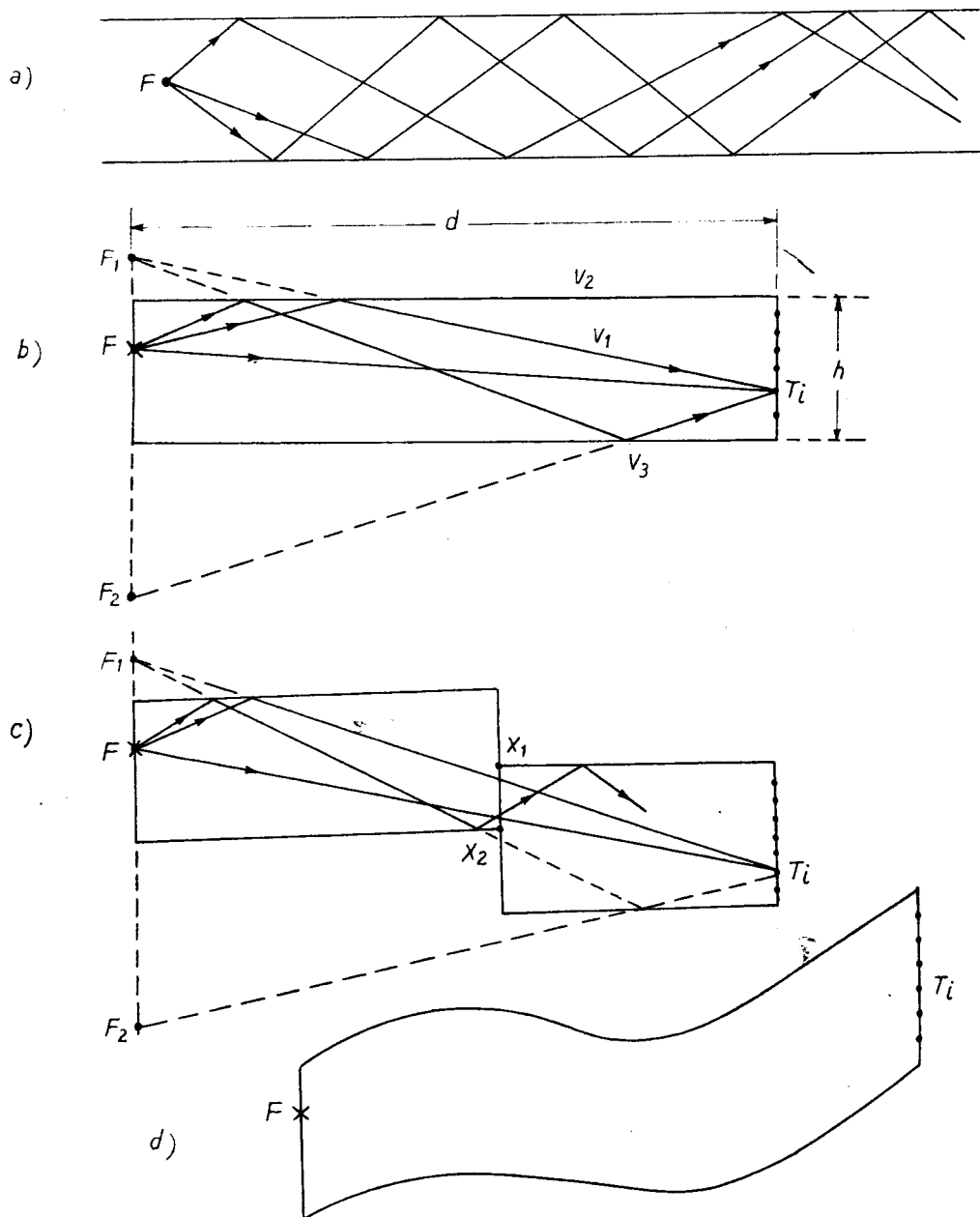
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} \quad (1)$$

ở đây  $i_1$  là góc tới,  $i_2$  là góc khúc xạ.

Ta có  $\sin i_2 = (V_2/V_1) \sin i_1$ .

Giả sử  $V_2 > V_1$  thì với một góc tới  $i_1$  nào đó gọi là góc tới hạn,  $\sin i_2$  sẽ lớn hơn 1. Lúc ấy sẽ xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần, sóng sẽ chỉ truyền trong môi trường  $W_1$ . Nếu môi trường  $W_1$  nằm xen giữa các môi trường có tốc độ truyền sóng cao hơn thì phần lớn năng lượng sóng đàn hồi như được truyền đi trong lòng ống. Về mặt lý thuyết và thực nghiệm [3, 4, 5, 7], các nhà khoa học đã khẳng định hiện tượng sóng đàn hồi lan truyền chủ yếu trong môi trường vật chất giới hạn (gọi là lớp hay vỉa như trong địa vật lý) là hiệu ứng ống dẫn sóng (hình 1 a). Trong công tác địa chất thăm dò hiệu ứng ống dẫn sóng là con dao hai lưỡi. Thứ nhất, hiệu ứng này gây trở ngại đáng kể cho việc thu sóng địa chấn trong nghiên cứu địa chất bằng phương pháp địa chấn. Nguyên do là ở phần gần mặt đất thường có một phần của lát cắt địa chất có vận tốc truyền sóng thấp (gọi là đới tốc độ nhỏ). Năng lượng từ nguồn phát sẽ bị hấp thụ rất nhiều trong đới tốc độ nhỏ này. Ngoài ra năng lượng tập trung lớn trong các đới này có thể làm nhiễu các tín hiệu địa chấn phản xạ từ các ranh giới phía dưới. Chính vì thế, nghiên cứu hiện tượng ống dẫn sóng để đấu tranh hạn chế các ảnh hưởng của nó

trong thăm dò địa chất là rất cần thiết. Thứ hai, hiệu ứng ống dẫn sóng lại là có ích vì người ta có thể thu sóng địa chấn từ khá xa nguồn phát do năng lượng được tập trung trong vỉa. Đặc điểm này đã được ứng dụng vào các khảo sát địa chất trong các hầm lò khai thác than [6]. Các vỉa than thường có tốc độ truyền sóng địa chấn thấp (1800-2200 m/s) so với đá kẹp vỉa có tốc độ truyền sóng hơn hẳn (3500-4500 m/s). Từ một phía của vỉa (trong lòng vỉa) ta phát tín hiệu địa chấn (nổ mìn), phía kia ta đặt máy thu (hình 1 b).



Hình 1. a- Sóng địa chấn trong vỉa; b,c,d- Vỉa với các hình thái khác nhau

Căn cứ vào bức tranh trường sóng địa chấn thu được (các băng địa chấn), các nhà địa chất địa vật lý có thể dự đoán về hình thái và cấu trúc vỉa than. Điều này rất có ích cho việc thiết kế quy trình công nghệ khai thác hợp lý.

## II - TÍNH LÝ THUYẾT TRƯỜNG SÓNG ĐỊA CHẤN TRONG VĨA

Nhìn chung việc tính lý thuyết bài toán truyền sóng địa chấn gồm ba bước cơ bản sau:

- Chọn mô hình tính toán.
- Tính thời gian phát - thu sóng.
- Xây dựng băng địa chấn.

### 1. Chọn mô hình tính toán

Như trên đã đề cập, các vỉa than kẹp giữa có thể gần đúng bằng mô hình ba lớp (hình 1), trong đó vỉa than được giới hạn bởi hai mặt phẳng song song cách nhau một khoảng  $h$  ( $h$  - chiều dày vỉa,  $d$  - chiều dài đoạn vỉa khảo sát). Tốc độ truyền sóng và mật độ của than là  $V_1, \rho_1$ . Kề hai phía của vỉa than là các vỉa đá có tốc độ truyền sóng và mật độ là  $V_2, \rho_2$  và  $V_3, \rho_3$ .

### 2. Tính thời gian phát - thu sóng

Như các kết quả nghiên cứu thực tế tại các đường lò ở Việt Nam [2], trường sóng trong vỉa chủ yếu là sóng qua (sóng trực tiếp) thẳng từ nguồn phát đến máy thu và các sóng phản xạ một đến nhiều lần đập vào vách trên, trụ dưới của vỉa (hình 1a). Các sóng khác ví dụ sóng đầu trượt theo mặt tiếp xúc giữa vỉa và đá vách trụ có cường độ không đáng kể. Như vậy chúng tôi sẽ xây dựng thuật toán để tính sóng trực tiếp và các sóng phản xạ từ hai phía vách, trụ vỉa. Trong hầm lò người ta hay gọi phía trên của vỉa là vách, phía dưới là trụ vỉa. Để tiện có thể gọi là phía trên và phía dưới.

- Tính thời gian truyền sóng trực tiếp:

Với sóng trực tiếp, việc tính thời gian truyền sóng từ nguồn phát tới một điểm thu là đơn giản hơn cả. Vì, như hình 1, với toán học các điểm thu và phát có tọa độ xác định. Quãng đường đi từ điểm phát  $F$  tới một điểm thu  $T_i$  là  $R_i$  (độ dài giữa hai điểm  $F$  và  $T_i$ ). Thời gian sóng truyền sẽ là  $t_i = R_i/V_1$ . Tuy vậy với mô hình 2 công việc sẽ phức tạp hơn vì ta phải kiểm tra các tia  $FT_i$  có đi qua đứt gãy trong giới hạn giữa các điểm  $X_1$  và  $X_2$  không (hình 1c).

- Tính thời gian truyền các sóng phản xạ:

Với các sóng phản xạ có thể tính bằng nhiều cách, chúng tôi chọn phương pháp đối xứng ảnh qua gương. Ví dụ điểm phát là  $F$  (hình 1b), thời gian sóng

phản xạ một lần qua vách trên sẽ được tính như thời gian truyền sóng từ điểm  $F_1$  đối xứng của  $F$  (qua vách trên). Nếu sóng phản xạ thêm một lần nữa qua trụ dưới thì thời gian sẽ được tính như đi từ điểm  $F_2$  (đối xứng của  $F_1$  qua trụ dưới). Với các mô hình bị biến dạng kiểu đứt gãy và uốn nếp (hình 1 c,d) công việc phức tạp lên rất nhiều. Chúng ta phải tính đến tất cả các khả năng sóng đập vào các đoạn ranh giới phía trên và phía dưới sau đó lại phải loại đi các tia không hợp lý (như hình 1 c).

### 3. Xây dựng bằng địa chấn

Bảng địa chấn lý thuyết được xây dựng nhằm cung cấp cho các nhà chuyên môn một hình ảnh gần giống với hình ảnh bằng địa chấn thu được khi đo đạc. Chính vì thế xung sóng (tín hiệu) được cài đặt sẽ phải gần giống với xung thực tế hoặc lấy trực tiếp từ thực tế. Xung này thông thường là đoạn hình sin biên độ tắt dần có thể từ một đến vài ba pha. Các tác giả nước ngoài [1] hay sử dụng hai xung (hình 2):

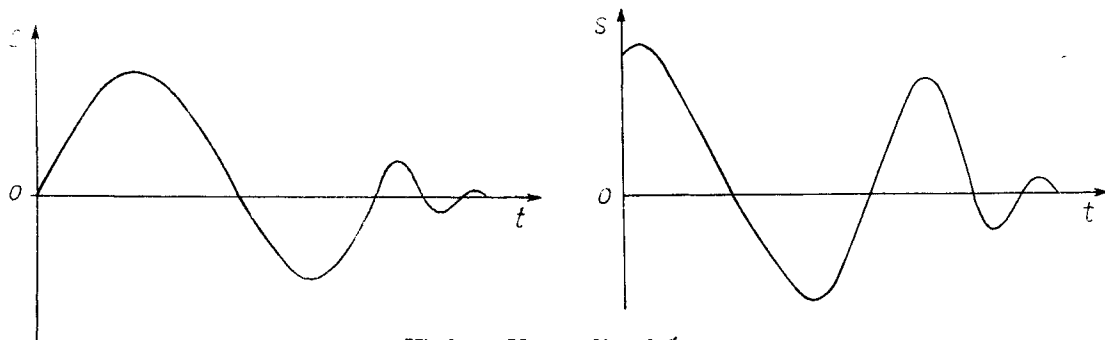
- Xung Pugiorôp

$$S = S_0 e^{-nt^2} \sin(w_0 + \varphi) \quad (2)$$

- Xung Beclazơ:

$$S = S_0 t^n e^{-kt} \sin(w_0 + \varphi) \quad (3)$$

Trong đó:  $S$  - biên độ,  $t$  - thời gian  
 $w_0$  - tần số,  $\varphi$  - độ lệch pha  
 $S_0, k, n, w_0, \varphi$  - các hằng số



Hình 2. Xung địa chấn

Biên độ của một sóng tại thời điểm tín hiệu đến máy thu được xác định theo công thức sau:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\alpha r_i} \cdot r_i^{-n} \cdot F_{pp}^m \quad (4)$$

Ở đây:

- $A_0$  là biên độ sóng của thời điểm ban đầu
- $\alpha$  là hệ số hấp thụ sóng của đất đá

- $r_i$  là độ dài đường đi của sóng
- $n$  là một hằng số biểu diễn sự khuếch tán sóng trên đường đi (ví dụ  $n = 1/2$ , theo [4])
- $F_{pp}$  là hệ số phản xạ sóng
- $m$  là số lần phản xạ.

Hệ số hấp thụ sóng  $\alpha$  phụ thuộc vào tính chất cơ lý của môi trường truyền sóng và tần số sóng. Hệ số hấp thụ sóng này thường được xác định bằng thực nghiệm. Việc xác định hệ số phản xạ  $F_{pp}$  là khá cồng kềnh. Hệ số phản xạ, khúc xạ sóng được xác định bằng việc giải hệ bốn phương trình sau [1].

$$\begin{aligned}
 \sin \alpha_p - F_{pp} \sin \alpha_p + F_{ps} \cos \alpha_s - K_{pp} \sin \beta_p - K_{ps} \cos \beta_s &= 0 \\
 \cos \alpha_p + F_{pp} \cos \alpha_s + F_{ps} \sin \alpha_s - K_{pp} \cos \beta_p - K_{ps} \sin \beta_s &= 0 \\
 - \sin 2\alpha_p - F_{pp} \sin 2\alpha_p + F_{ps} (V_{p1}/V_{s1}) \cos 2\alpha_s & \\
 + K_{pp} (\rho_2/\rho_1) (V_{s2}/V_{s1}) (V_{p1}/V_{p2})^2 \sin 2\beta_p & \\
 - K_{ps} (\rho_2/\rho_1) (V_{p1}/V_{p2}) (V_{s2}/V_{s1})^2 \cos 2\beta_s &= 0 \\
 - \cos 2\alpha_s + F_{pp} \cos 2\alpha_s + F_{ps} (V_{s1}/V_{p1}) \sin 2\alpha_s & \\
 + K_{pp} (\rho_2/\rho_1) (V_{s2}/V_{s1}) (V_{p1}/V_{p2})^2 \sin 2\beta_p & \\
 - K_{ps} (\rho_2/\rho_1) (V_{p1}/V_{p2}) (V_{s2}/V_{s1})^2 \cos 2\beta_s &= 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

Ở đây:

-  $F_{pp}$ ,  $F_{ps}$ ,  $K_{pp}$ ,  $K_{ps}$ ,  $\alpha_p$ ,  $\alpha_s$ ,  $\beta_p$ ,  $\beta_s$  lần lượt từng cặp là hệ số phản xạ, hệ số khúc xạ, góc phản xạ, góc khúc xạ sóng dọc và ngang.

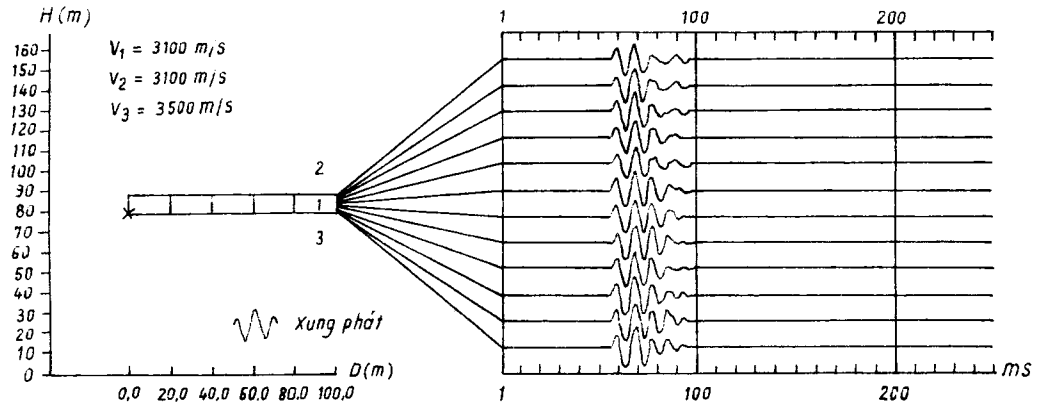
-  $V_{p1}$ ,  $V_{s1}$ ,  $V_{p2}$ ,  $V_{s2}$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  lần lượt là tốc độ truyền sóng dọc, ngang và mật độ đất đá của hai môi trường  $W_1$ ,  $W_2$ .

Các góc và tốc độ truyền sóng liên hệ với nhau bằng biểu thức [1]:

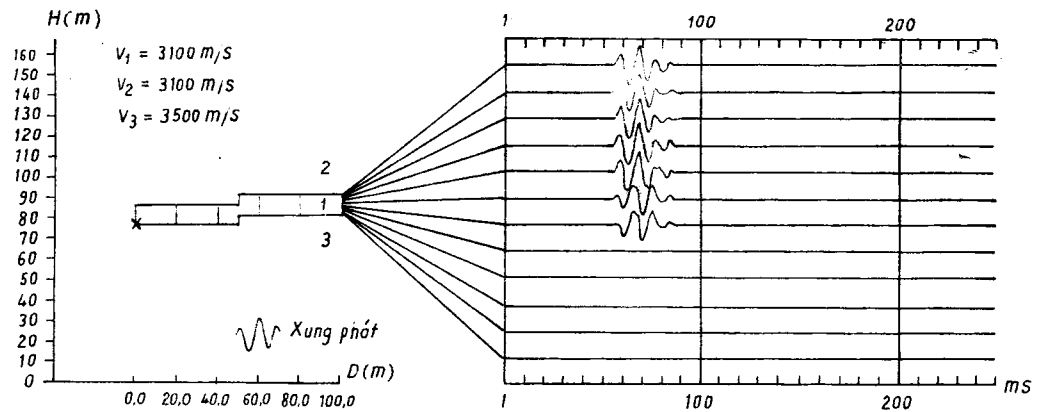
$$\frac{V_{p1}}{\sin \alpha_p} = \frac{V_{p2}}{\sin \beta_p} = \frac{V_{s1}}{\sin \alpha_s} = \frac{V_{s2}}{\sin \beta_s} \tag{6}$$

Bảng địa chấn được xây dựng theo thuật toán như sau:

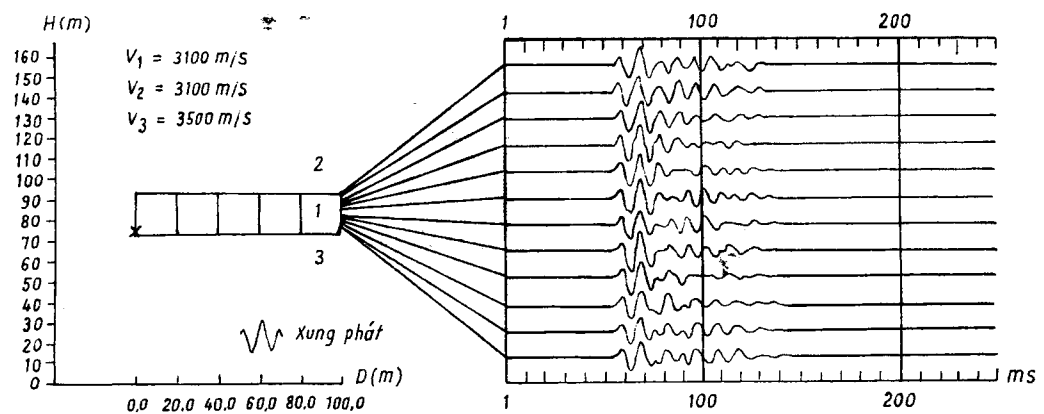
Hãy tưởng tượng trên các trục thẳng đứng dùng làm mạch địa chấn, các mạch này cách đều nhau một khoảng là  $\Delta x$ . Trên mỗi mạch được chia thành các điểm cách nhau tương ứng với bước rời rạc hóa tín hiệu là  $dt$  (ví dụ  $dt = 0,001$  s). Các giá trị biên độ thu được trên các mạch địa chấn là các giá trị của ma trận  $A(i, j)$ . Ở đây  $i$  là số mạch địa chấn (số máy thu),  $j$  là số điểm rời rạc trên một mạch. Ban đầu các phần tử của ma trận là 0 ( $A(i, j) = 0$ ). Có thể tất cả các phần tử lúc đầu được gán những số ngẫu nhiên làm nhiễu ngẫu nhiên  $A(i, j) = \text{Random}(x)$ .



Hình 3.a. Mô hình dài 100 m , rộng 10 m



Hình 3.b. Mô hình dài 100 m , rộng 20 m



Hình 3.c. Mô hình dài 100 m , rộng 20 m

Hình 3. Các bảng địa chấn tính toán

a- cho hình 1 b (bề dày 10 m); b- cho hình 1 c; c- cho hình 1 b (bề dày 20 m).

Công việc tiếp theo là tất cả các giá trị thời gian sóng tới các máy thu tại  $T_i$  (thời gian sẽ là mảng hai chiều  $t[k, l]$ ) sẽ được chia cho bước rời rạc  $dt$  để chuyển thành chỉ số của ma trận bằng cách làm tròn phép chia:

$$t_i = \text{Round}(t[k, l]/dt)$$

Như vậy ta sẽ có hàng loạt các vị trí của  $t_i$  tương ứng với các giá trị  $t$ . Sau đó tại những phần tử của ma trận  $A$  mang các chỉ số  $t_i$  như trên sẽ tiến hành gán giá trị biên độ theo công thức (4). Tiếp theo ta có thể tính xung  $S$  theo công thức (2) hoặc (3). Xung này cũng được tính với bước  $dt$  như bước rời rạc. Xung  $S_i$  sau khi được tính phải đảo ngược và chập lần lượt với từng mạch trong mảng  $A[i, j]$ . Kết quả cuối cùng mảng  $A[i, j]$  sẽ là bằng địa chấn được tính.

### III - KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Trên cơ sở các thuật toán trình bày trên chúng tôi đã xây dựng chương trình chạy trên các máy vi tính để tính và xây dựng bằng địa chấn. Qua thử nghiệm cho thấy thuật toán làm việc được với các mô hình từ đơn giản đến tương đối phức tạp (như các hình 1 b,c,d). Đối chiếu với các bằng thực tế thu được trong [2] thấy khá phù hợp. Các mô hình này về cơ bản đáp ứng với thực tế địa chất. Thuật toán có thể làm việc tốt với các mô hình có bề dày vỉa thay đổi (hai mặt tiếp xúc không song song). Trên các hình 3 a,b là các bằng địa chấn xây dựng cho các mô hình 1 b,c. Chúng ta có thể thấy được hiệu ứng “bóng tối” trên bằng địa chấn cho mô hình có xê dịch do đứt gãy (hình 3 b). Đặc biệt với mô hình có bề dày lớn hiệu ứng ống dẫn sóng biểu hiện khá rõ (hình 3 c), xuất hiện thêm các pha sóng phía sau các pha chính. Với phần mềm được xây dựng, các chuyên gia địa chất có thể sử dụng để tính thêm nhiều tình huống khác như thay đổi tọa độ điểm phát nguồn, thay đổi độ dài, bề dày, tốc độ truyền sóng của vỉa. Các kết quả nhận được sẽ là những dự báo tốt cho các khảo sát địa chất tiếp theo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Năng Vũ và n.n.k., *Địa vật lý thăm dò, Tập III. Thăm dò địa chấn*, NXB Bộ Đại học và THCN, 1983.
2. Phạm Năng Vũ, Nguyễn Huy Ngọc, *Đặc điểm trường sóng địa chấn trong các hầm lò khai thác than khu mỏ Quảng Ninh*, Tạp chí Các khoa học về trái đất, **17** (3) (1995), 113-119.
3. Gilberstein P. G., *Về một loại sóng nhiễu trong thăm dò địa chấn*, Địa vật lý thăm dò, Nedra, Moskva, số 20 (19 7), 3-16 (tiếng Nga).

4. Gilberstein P. G., Postovich V. C., *Nghiên cứu sóng nhiễu - giao thoa trong thăm dò địa chấn*, Địa vật lý thăm dò, Nedra, Moskva, số 33 (1969), 29 - 49 (tiếng Nga).
5. Keilis-Borok V. N., Levsin A. N., *Sóng mặt trong môi trường nằm ngang có bất đồng nhất*, Nauka, Moskva, 1986 (tiếng Nga).
6. Krupin V. E., *Sử dụng phương pháp địa chấn để khảo sát các vỉa than*, Tin tức các trường đại học, Tạp chí Mở, số 2 (1963), 3 - 9 (tiếng Nga).
7. Laster S., Foreman S., Linville F., *Theoretical Investigation of model seismograms for a layer over a half-space*, Geophysics, 4 (1965), 571.

- Trường Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQG Hà Nội  
- Trung tâm KHTN và CNQG

*Nhận bài ngày 12-12-1995*