

# PHƯƠNG PHÁP THÀNH LẬP MÔ HÌNH CHUYỂN DỊCH CÔNG TRÌNH DẠNG ĐẬP THEO THỜI GIAN

TS. NGUYỄN QUANG KHÁNH  
Trưởng Đại học Mỏ-Địa chất

Xây dựng mô hình chuyển dịch là một trong một trong những nhiệm vụ quan trọng của công tác quan trắc biến dạng công trình. Mô hình chuyển dịch của đối tượng quan trắc trong không gian 3 chiều và mô hình chuyển dịch theo thời gian thường được sử dụng để phân tích diễn biến chuyển dịch và dự báo khả năng tương lai. Bài báo này có nội dung nghiên cứu phương pháp thành lập mô hình chuyển dịch theo thời gian.

## 1. Phương pháp xây dựng mô hình chuyển dịch ngang theo thời gian của công trình đập

Nội dung của bài toán xây dựng mô hình chuyển dịch công trình theo thời gian: Trên cơ sở tập hợp số liệu đo chuyển dịch công trình trong k chu kỳ với các dữ liệu quan trắc được là thời gian thực hiện các chu kỳ quan trắc  $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  với tập giá trị chuyển dịch ngang tương ứng  $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_k\}$ , cần xác định hàm số biểu thị sự phụ thuộc giữa Q và t.

Mô hình chuyển dịch theo thời gian cho phép ước lượng giá chuyển dịch của đối tượng quan trắc ở thời điểm bất kỳ, tức là bài toán dự báo độ chuyển dịch công trình. Phụ thuộc vào tính chất tuần hoàn (hoặc không tuần hoàn) của giá trị chuyển dịch mà có thể sử dụng các dạng hàm số khác nhau [1]. Trong phần tiếp theo dưới đây chúng tôi trình bày phương pháp xây dựng mô hình chuyển dịch theo hàm đa thức và hàm tuần hoàn, là 2 dạng hàm số cơ bản, rất phù hợp cho việc mô tả chuyển dịch các tuyến đập ở Việt Nam.

### 1.1. Phương pháp dự báo theo hàm số dạng đa thức

Khi sử dụng đa thức, chuyển dịch ngang công trình được thể hiện dưới dạng [2], [3]:

$$Q_t = a_0 + a_1.t + a_2.t^2 + \dots + a_n.t^n \quad (1)$$

Trong đó:  $Q_t$  - Độ chuyển dịch công trình ở thời điểm t; t - Thời điểm xảy ra chuyển dịch  $Q_t$ ;  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  - Các hệ số của đa thức.

Như vậy để tính giá trị chuyển dịch công trình

theo công thức (1) chúng ta cần phải xác định được: số bậc đa thức "n"; các hệ số của đa thức:  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ .

Nếu biết bậc của đa thức là n thì các hệ số  $a_i$  ( $i=1 \div n$ ) được xác định từ số liệu đo chuyển dịch trong k chu kỳ đã quan trắc. Mỗi chu kỳ đo sẽ thành lập được 1 phương trình dạng (1):

$$Q_{t_i} = a_0 + a_1.t_i + a_2.t_i^2 + \dots + a_n.t_i^n \quad (2)$$

Như vậy từ k chu kỳ quan trắc chúng ta thành lập được k phương trình dạng (2), trong khi có (n+1) hệ số cần tìm. Để xác định được các hệ số  $a_i$  cần phải có  $k \geq (n+1)$ .

Trường hợp nếu  $k=(n+1)$ , vector hệ số a được xác định trên cơ sở giải hệ phương trình tuyến tính (2). Tuy nhiên trường hợp này ít xảy ra trong thực tế vì khi số lượng chu kỳ quan trắc chỉ vừa đủ để xác định vector hệ số thì đa thức xây dựng được có độ tin cậy không cao [4].

Khi  $k > (n+1)$  bài toán được giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất theo trình tự sau:

Coi (2) là phương trình trị đo (thứ i) sẽ lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh từ tập hợp kết quả k chu kỳ quan trắc:

$$\begin{cases} v_1 = a_0 + a_1.t_1 + a_2.t_1^2 + \dots + a_n.t_1^n - Q_1 \\ v_2 = a_0 + a_1.t_2 + a_2.t_2^2 + \dots + a_n.t_2^n - Q_2 \\ \dots \\ v_k = a_0 + a_1.t_k + a_2.t_k^2 + \dots + a_n.t_k^n - Q_k \end{cases} \quad (3)$$

Ký hiệu:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & \dots & t_1^n \\ 1 & t_2 & t_2^2 & \dots & t_2^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_k & t_k^2 & \dots & t_k^n \end{bmatrix}$$

$$Q = [-Q_1 \quad -Q_2 \quad -Q_3 \quad \dots \quad -Q_k]^T$$

$$Z = (a_0, a_1, \dots, a_n)^T$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_k)^T$$

Sẽ viết được hệ phương trình số hiệu chỉnh dưới dạng ma trận:

$$V = B.Z + Q \tag{5}$$

Trên cơ sở biểu thức (5), áp dụng nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất, chúng ta lập được hệ phương trình chuẩn:

$$B^T B.Z - B^T Q = 0 \tag{6}$$

Từ đây suy ra vector nghiệm:

$$Z = -(B^T B)^{-1} . B^T Q \tag{7}$$

Trở lại việc xác định bậc của đa thức (1), nhiều nghiên cứu đã xác định rằng, đa thức với số bậc càng nhỏ thì có độ ổn định càng cao [4], vì vậy chúng ta sẽ hướng đến việc tìm đa thức có số bậc nhỏ nhất, đồng thời phù hợp với kết quả quan trắc, vấn đề này có thể được giải quyết theo trình tự sau. Lần lượt lập các đa thức với số bậc tăng dần từ 0 đến k-2, với mỗi đa thức đã chọn, chúng ta tính các hiệu:  $\delta_i = (Q_i^{do} - Q_i^{dt})$  ( $Q_i^{do}$  là chuyển dịch đo được ở chu kỳ thứ i, còn  $Q_i^{dt}$  là chuyển dịch tính theo đa thức ở thời điểm chu kỳ đo thứ i), sau đó tính tổng:

$$\mu_j = \sqrt{[\delta^2] / (k - n - 1)} \tag{8}$$

$$\begin{cases} v_1 = a_0 + \sin(\omega t_1) a_1 + \cos(\omega t_1) a_2 + t_1(a_1 \cos(\omega t_1) + a_2 \sin(\omega t_1)) \delta\omega - Q_1 \\ v_2 = a_0 + \sin(\omega t_2) a_1 + \cos(\omega t_2) a_2 + t_2(a_1 \cos(\omega t_2) + a_2 \sin(\omega t_2)) \delta\omega - Q_2 \\ \dots \\ v_n = a_0 + \sin(\omega t_k) a_1 + \cos(\omega t_k) a_2 + t_k(a_1 \cos(\omega t_k) + a_2 \sin(\omega t_k)) \delta\omega - Q_k \end{cases} \tag{10}$$

Với các ký hiệu:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\omega t_1) & \cos(\omega t_1) & t_1(a_1 \cos(\omega t_1) + a_2 \sin(\omega t_1)) \\ 1 & \sin(\omega t_2) & \cos(\omega t_2) & t_2(a_1 \cos(\omega t_2) + a_2 \sin(\omega t_2)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ 1 & \sin(\omega t_k) & \cos(\omega t_k) & t_k(a_1 \cos(\omega t_k) + a_2 \sin(\omega t_k)) \end{bmatrix}$$

$$Q = [-Q_1 \ -Q_2 \ -Q_3 \ \dots \ -Q_k]^T \tag{11}$$

$$Z = (a_0, a_1, a_2)^T$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_k)^T$$

Chúng ta sẽ lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh  $V = (B.Z + Q)$  và xác định được vector tham số  $z = (a_1, a_2, a_3, \omega)$  theo quy trình giống như đã trình bày trong mục 1 thông qua các công thức (6÷7).

Khi chuyển dịch của công trình không chỉ có tính chất tuần hoàn đơn thuần, chúng ta có thể xây dựng mô hình chuyển dịch theo một số dạng hàm số hỗn hợp dưới dạng:

$$Q_t = a_0 + a_1 \sin(\omega t) + a_2 \cos(\omega t) + a_3 t + a_4 t^2 + \dots \tag{12}$$

Thực tế quan trắc chuyển dịch tại các công trình đập lớn ở Việt nam cho thấy, giá trị chuyển dịch ngang của các tuyến đập khi đã đưa vào vận hành phụ thuộc rất nhiều vào mực nước trong hồ chứa,

Đa thức có giá trị  $\mu$  (sai số mô hình) nhỏ nhất sẽ được chọn để dự báo chuyển dịch. Thực tế cho thấy đối với rất nhiều công trình, chỉ cần chọn đa thức đến bậc 2 hoặc 3 là đủ. Hàm đa thức có thể sử dụng để lập mô hình chuyển dịch trong giai đoạn thi công xây dựng và ở thời kỳ đầu vận hành các công trình đập.

### 1.2. Phương pháp dự báo chuyển dịch theo hàm tuần hoàn

Khi sử dụng hàm tuần hoàn, chuyển dịch ngang công trình được thể hiện dưới dạng [1]:

$$Q_t = a_0 + a_1 \sin(\omega t) + a_2 \cos(\omega t) \tag{9}$$

Trong đó: t và  $Q_t$  là thời gian thực hiện và giá trị chuyển dịch của đối tượng quan trắc ở chu kỳ quan trắc. Các tham số cần xác định trong hàm tuần hoàn là:  $a_0, a_1, a_2$  và  $\omega$ . Trong đó:  $a_0$  thể hiện chuyển dịch trung bình của đối tượng,  $\sqrt{a_1^2 + a_2^2}$  thể hiện biên độ của chuyển dịch, còn  $\omega$  đặc trưng cho chu kỳ của hàm tuần hoàn.

Giả sử có k chu kỳ quan trắc ( $k > 4$ ), khi đó chúng ta thành lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh sau:

bể chứa, yếu tố này lại có tính chất biến đổi theo mùa hoặc theo chu kỳ sản xuất của nhà máy tuyển xả nước xuống bể thải, bể lắng có công trình đập. Vì vậy việc sử dụng hàm tuần hoàn hoặc hàm hỗn hợp để xây dựng mô hình chuyển dịch là cần thiết và phù hợp.

### 2. Tính toán thực nghiệm

Để làm rõ quy trình tính toán xây dựng mô hình chuyển dịch theo thời gian, chúng tôi thực hiện tính toán thử nghiệm với công trình đập lấy số liệu từ thực tế quan trắc chuyển dịch công trình đập thủy điện ở Việt Nam, một về mô hình hàm đa thức và một về mô hình hàm tuần hoàn.

#### 2.1. Thành lập mô hình chuyển dịch theo hàm đa thức

Để làm rõ quy trình tính toán xây dựng mô hình chuyển dịch theo thời gian, chúng tôi đã thực hiện tính toán thực nghiệm với hàm đa thức, lấy số liệu từ thực tế quan trắc chuyển dịch một công trình đập. Số liệu chuyển dịch ngang của mốc quan trắc trong 7 chu kỳ đầu tiên được đưa ra ở Bảng 1.

Lần lượt lập các đa thức từ bậc 0 đến bậc 5, với mốc tính từ chu kỳ đầu  $t_1=0, t_2=4, t_3=8, t_4=12, t_5=16, t_6=21, t_7=29$ . Đối với mỗi bậc đa thức, tiến hành tính

toán sai số mô hình  $\mu$ , đa thức có sai số mô hình nhỏ nhất sẽ được chọn để làm mô hình chuyển dịch. Kết quả tính toán hệ số đa thức và sai số trung phương mô hình được đưa ra trong Bảng 2. Biểu đồ chuyển dịch và mô hình chuyển dịch theo thời gian được đưa ra trong hình H.1. Dựa trên kết quả đưa ra trong Bảng 2 có thể thấy đa thức bậc 3 có sai số trung phương mô hình nhỏ nhất nên được chọn làm mô hình. Mô hình hàm đa thức được chọn sẽ là:

$$Q_t = 0,205 - 2,603.t - 0,038.t^2 + 0,002.t^3.$$

Bảng 1. Kết quả quan trắc chuyển dịch điểm mốc M7

Chu kỳ	Thời gian đo	Chuyển dịch, mm
1	25-12-2001	0,0
2	25-04-2002	-10,4
3	19-08-2002	-22,1
4	08-12-2002	-30,3
5	25-04-2003	-44,8
6	27-09-2003	-47,0
7	12-05-2004	-48,8

**2.2. Thành lập mô hình chuyển dịch theo hàm tuần hoàn**

Số liệu quan trắc chuyển dịch ngang của điểm quan trắc tại một công trình trong 16 chu kỳ được đưa ra ở Bảng 3. Sử dụng mô hình (12) để dự báo chuyển dịch ngang (ví dụ cho 4 thời điểm cách chu kỳ quan trắc cuối cùng 1, 2, 4 và 8 tháng) thu được kết quả:

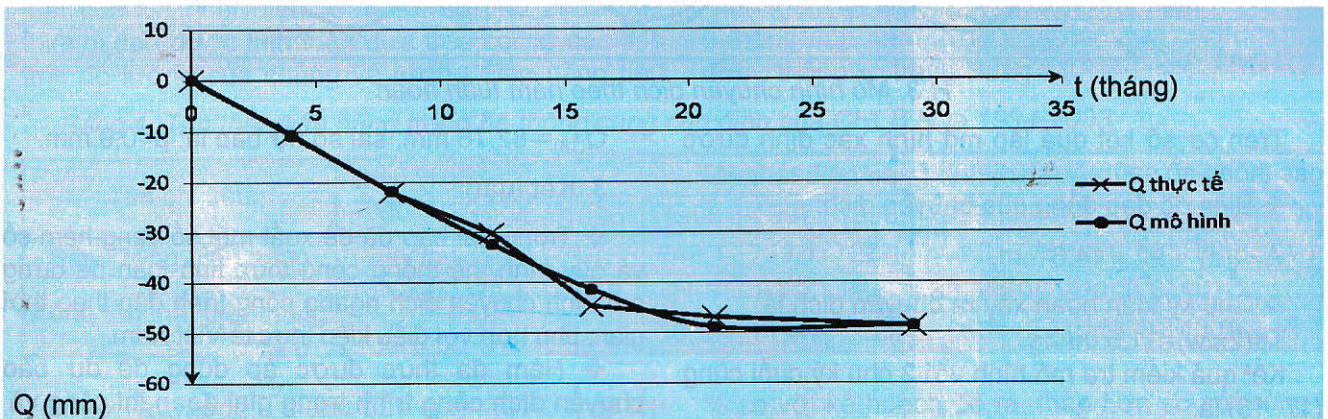
Bảng 3.

TT	Thời gian đo	Giá trị chuyển dịch (mm)
1	20/01/2002	-86.2
2	19/03/2002	-90.4
3	15/05/2002	-111
4	30/07/2002	-106.4
5	09/09/2002	-102.3
6	14/11/2002	-83.4
7	28/01/2003	-84.6
8	25/03/2003	-95.8
9	14/05/2003	-107
10	07/07/2003	-110.5
11	11/09/2003	-92.2
12	16/11/2003	-84.8
13	12/01/2004	-84.2
14	17/03/2004	-103.2
15	18/05/2004	-112.5
16	07/07/2004	-112.3
17	06/09/2004	-99.9
18	16/11/2004	-81.9

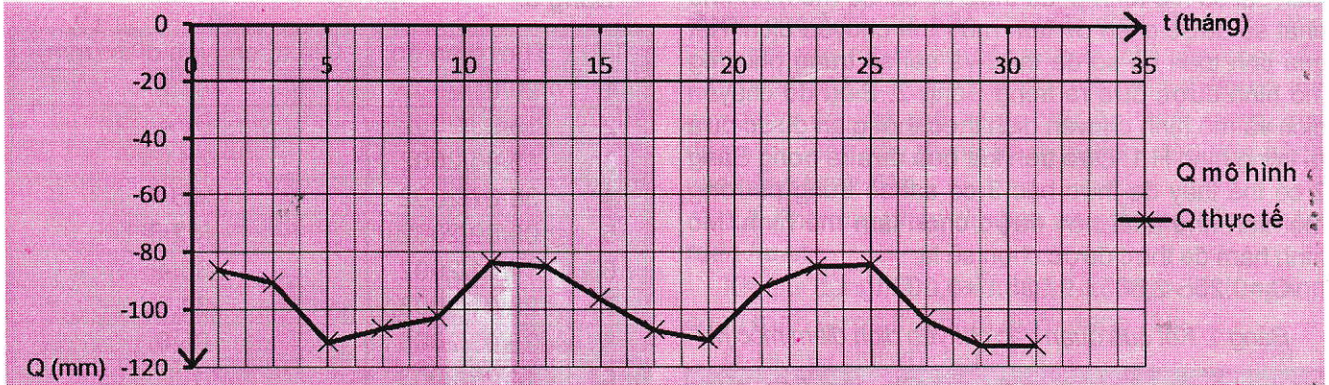
- ❖ Kết quả dự báo sau 1 tháng ( $t=30$ ).  $Q_{(1th)} = -47,1$  mm;
- ❖ Kết quả dự báo sau 2 tháng ( $t=31$ ).  $Q_{(2th)} = -45,3$  mm;
- ❖ Kết quả dự báo sau 4 tháng ( $t=33$ ).  $Q_{(4th)} = -40,5$  mm;
- ❖ Kết quả dự báo sau 8 tháng ( $t=37$ ).  $Q_{(8th)} = -26,1$  mm.

Bảng 2. Kết quả tính toán hệ số đa thức và sai số mô hình

Bậc đa thức	Hệ số đa thức						Sai số (mm)
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	
0	-29,057	-----	-----	-----	-----	-----	31,3
1	-5,975	-1,795	-----	-----	-----	-----	7,1
2	1,918	-3,718	0,066	-----	-----	-----	2,9
3	0,205	-2,603	-0,038	0,002	-----	-----	2,6
4	-0,248	-1,779	-0,194	0,011	$-10^{-4}$	-----	2,8
5	0,134	-4,463	0,680	-0,082	0,003	$-5,8 \cdot 10^{-5}$	3,3



H.1. Mô hình chuyển dịch theo hàm đa thức



H.2. Biểu đồ chuyển dịch điểm quan trắc

Phân tích sơ bộ trên đồ thị (H.2) cho thấy, chuyển dịch của điểm quan trắc có tính tuần hoàn theo thời gian, vì vậy chọn mô hình chuyển dịch dưới dạng:

$$Q_t = a_0 + a_1 \cdot \sin(\omega t) + a_2 \cdot \cos(\omega t)$$

Sử dụng số liệu quan trắc trong 16 chu kỳ đầu để xây dựng mô hình, số liệu 2 chu kỳ cuối (chu kỳ 17 và 18) để so sánh đối chứng. Tham số của mô hình được xác định theo các bước sau:

❖ Bước 1: Chọn  $a_1, a_2, \omega$  gần đúng được:  $a_1 = a_2 = 11; \omega = (2\pi/12)$ .

❖ Bước 2: Tính toán xác định các tham số của hàm tuần hoàn theo quy trình nêu tại 2.1.

Kết quả thu được:

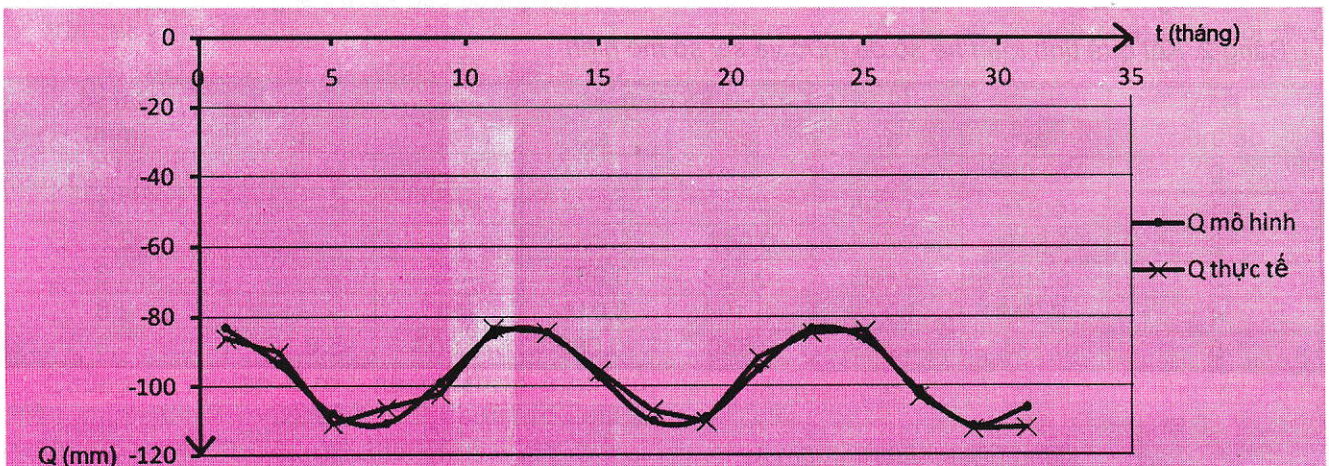
$$z = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -97,29 \\ 4,70 \\ 13,78 \\ 0,55 \end{bmatrix}$$

Tính sai số mô hình:

$$\mu = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-4}} = 3,2 \text{ mm.}$$

Kết quả thành lập được mô hình hàm tuần hoàn:  $Q_t = -97,29 + 4,7 \cdot \sin(0,55t) + 13,78 \cdot \cos(0,55t)$ . (14)

Biểu đồ mô hình chuyển dịch điểm M2 theo hàm tuần hoàn được đưa ra trong hình H.3.



H.3. Mô hình chuyển dịch theo hàm tuần hoàn

Trên cơ sở kết quả lập mô hình xác định được các thông số sau:

❖ Biên độ dao động của chuyển dịch:

$$\Delta = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = 14,6 \text{ mm.}$$

❖ Chu kỳ tuần hoàn xảy ra chuyển dịch là:

$$T = (2\pi/\omega) = 11,5 \text{ tháng.}$$

Kết quả kiểm tra mô hình với 2 chu kỳ cuối cùng (17, 18) là:

$$Q_{(17)} = -91,40 \text{ mm; sai số dự báo là: } \mu = 8,5 \text{ mm;}$$

$$Q_{(18)} = -82,76 \text{ mm; sai số dự báo là: } \mu = 0,9 \text{ mm.}$$

### 3. Kết luận

❖ Trong bài báo đã đề xuất một số dạng hàm số và quy trình, hệ thống công thức tính toán để dựng mô hình chuyển dịch ngang công trình đập theo thời gian, phù hợp với điều kiện thực tế Việt Nam.

❖ Hàm đa thức được áp dụng để dự báo chuyển dịch công trình trong giai đoạn thi công và  
(Xem tiếp trang 40)

Từ hình H.6 ta nhận thấy khi lò chợ phía trên đã tiến hành khấu than song thì khi chiều dày vỉa là 1,5 m và 2,4 m hiện tượng dịch chuyển và phá hủy nóc lò so với trường hợp 5,5 m là nhỏ hơn. Tuy nhiên do ảnh hưởng của áp lực động trong quá trình khai thác này gây ra hiện tượng bùng nền. Trong khi trường hợp chiều dày vỉa 5,5 m do dịch chuyển và phá hoại nóc lò lớn, do đó hiện tượng bùng nền giảm đáng kể.

### 3. Kết luận

Với công cụ UDEC 4.0 và FLAC 3D tác giả tiến hành mô hình hóa hai gương lò chợ khai thác trong điều kiện hai vỉa than nằm gần nhau <8 m, sau đó tiến hành khảo sát tham số chiều dày vỉa than phía bên trên thay đổi là 2,4 m, 3,5 m và 5,5 m. Từ đó thu được kết luận sau:

❖ Khi lò chợ tiến hành khấu than, tầng đất đá phía nóc được tự do dịch chuyển dẫn đến áp lực nóc được giảm tải. Khi chiều dày vỉa than trên tăng lên tỷ lệ thuận với quá trình giảm tải phần đất đá nóc của vỉa, kết quả là áp lực tác dụng lên vỉa than dưới giảm và trong mô hình số khảo sát hoàn toàn chưa xuất hiện biểu hiện phá hủy nghiêm trọng ở vỉa than bên dưới.

❖ Khi chiều dày vỉa than phía trên tăng, hiện tượng bùng nền giảm. Nguyên nhân là do quá trình khấu than tạo khoảng không dịch chuyển, áp lực đất đá phần nóc được giảm tải đáng kể.

❖ Trong phạm vi khảo sát của bài báo, tác giả chưa tìm được mối liên hệ giữa chiều dày của vỉa than trên và quy luật phân bố ứng suất trong trụ bảo vệ. Tuy nhiên cũng đưa ra được quy luật phân bố ứng suất trong trụ bảo vệ chịu tác dụng tải trọng động trong quá trình khai thác lò chợ là đồng nhất với hình dạng đặc trưng được mô tả như trên hình H.4 và H.3.

Trong phạm vi bài báo tác giả phân biệt dùng UDEC để khảo sát tham số chiều dày vỉa than thay đổi, dùng FLAC 3D để khảo sát ảnh hưởng tải trọng động đến sự phân bố ứng suất trong trụ bảo vệ song chắc chắn cũng không thể chú ý được hết các biến động địa chất, do vậy đo đạc, quan trắc vẫn sẽ là công cụ hỗ trợ đắc lực trong quá trình khai thác. Sử dụng các phương pháp khác nhau trong nghiên cứu và giải quyết các bài toán thực tế đòi hỏi sự hợp tác chặt chẽ đa ngành, đồng thời đòi hỏi mỗi ngành chuyên môn đều phải phát triển, hoàn thiện các thủ thuật nghiên cứu riêng. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 张百胜. 极近距离煤层开采围岩控制理论及技术研究: [博士论文]. 太原: 太原理工大学, 2008.1.

2. 靖洪文. 软岩工程支理论及技术, 中国矿业大学出版社. 2008. 4.

3. B.N. Whittaker. Design and Stability of Pillar in Longwall Mining. The Mining Engineer. 1979. N<sup>o</sup>7.

*Người biên tập: Võ Trọng Hùng*

### SUMMARY

The paper shows the study results of destroyed rock manifestation using the numerical method in the case of layer thickness change.

## PHƯƠNG PHÁP THÀNH LẬP...

*(Tiếp theo trang 44)*

thời kỳ đầu vận hành công trình đập. Còn hàm tuần hoàn và hàm hỗn hợp được sử dụng trong giai đoạn vận hành công trình đập. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. V.D. Bolsakov, P.A. Gaidav (1977). Lý thuyết xử lý toán học số liệu đo đạc. nxb "Nhedra", Moskva.

2. G.P. Levtruc và nnk. (1981), Trắc địa ứng dụng: "Các phương pháp và nguyên tắc thực hiện công tác trắc địa công trình". nxb Nhedra, Moskva.

3. D.X. Mikhelev và nnk (1977), Công tác trắc địa trong nghiên cứu biến dạng các công trình lớn. nxb Nhedra, Moskva.

4. Dương Thủy Vĩ (2010), Phương pháp tính. Nxb Khoa học và Kỹ thuật.

*Người biên tập: Võ Trọng Hùng*

### SUMMARY

The article content established survey methods to build the movement model of dams construction for forecasting subsidence and horizontal moving. Established algorithms and determine the factor of movement model using least squares method. This model allows forecasting movement of construction with high reliability.