



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

Mô hình hóa tính toán vỏ chống đường hầm nhiều lớp, xây dựng trong khối đất đá không đồng nhất

Nguyễn Duyên Phong ^{1*}, Đặng Trung Thành ¹, Nguyễn Xuân Mãn ¹, Pakratrenko A.N. ², Sammal A.S. ³

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Trường Đại học tổng hợp công nghệ quốc gia Misis, CHLB Nga

³ Trường Đại học tổng hợp Tu La, CHLB Nga

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 15/7/2017
Chấp nhận 20/8/2017
Đăng online 30/8/2017

Từ khóa:

Ứng suất
Biến dạng
Lý thuyết đàn hồi

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu và đưa ra lời giải về xác định trạng thái ứng suất của vỏ chống nhiều lớp để gia cố cho đường hầm mặt cắt ngang hình tròn, xây dựng trong khối đất đá không đồng nhất. Trong nghiên cứu này, đã xem xét dịch chuyển của vỏ chống đường hầm và dịch chuyển của khối đất xung quanh đường hầm được xem là dịch chuyển của một hệ kết cấu thống nhất "vỏ chống nhiều lớp-khối đất đá". Vỏ chống và khối đất xung quanh đường hầm khi làm việc được xem là một hệ duy nhất trong hệ biến dạng "vỏ chống nhiều lớp-khối đất đá".

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trong lĩnh vực xây dựng công trình ngầm, vấn đề nghiên cứu chống giữ là hết sức quan trọng và luôn mang tính thời sự (Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc 2008, Nguyễn Xuân Mãn 1998). Trên thế giới cũng như trong nước vấn đề nghiên cứu tính toán vỏ chống nhiều lớp còn chưa nhiều. Đã có một số tác giả đề cập tới vấn đề này, nhưng chưa đưa ra lời giải có tính khái quát chung (Nguyễn Quang Phích 2007, Nguyễn Xuân Mãn 1998, Backlasov, Kartoria, 1984, Bulutrev N.S. 1994, Bulutrev, Phôchiva, Strensov, 1986). Trong một số bài toán của các tác giả nêu trên đã nghiên cứu trên cơ sở tính toán vỏ chống đường hầm có

mặt cắt ngang hình tròn, xây dựng trong khối đất đá được xem là đàn hồi đồng nhất và đẳng hướng. Tuy nhiên, việc xác định trạng thái ứng suất của vỏ chống đường hầm nhiều lớp, xây dựng trong khối đá không đồng nhất, không đẳng hướng cho đến nay vẫn còn nhiều bất cập, chưa có lời giải thỏa đáng. Chính vì vậy, trong bài viết này nhóm tác giả đã xây dựng thuật toán mô phỏng tính toán vỏ chống đường hầm nhiều lớp, xây dựng trong khối đất đá không đồng nhất. Ở đây, khối đất đá không đồng nhất là do yếu tố công nghệ tạo ra khi thi công đường hầm.

Hiện nay, một số các công trình ngầm giao thông ở Việt Nam như hầm Hải Vân, hầm Đèo Ngang, hầm ở Lào Cai, một số công trình thủy điện, một số giếng đứng ở mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh,... đã thiết kế vỏ chống có chiều dày khá lớn.

*Tác giả liên hệ

E-mail: nguyenduyenphong@humg.edu.vn

Chính điều đó làm tăng khối lượng các công tác đào hầm, xúc bốc vận chuyển và tăng chi phí vật liệu làm kết cấu chống, dẫn tới giá thành một mét hầm tương đối cao. Do đó, cần thiết phải nghiên cứu tính toán vỏ chống để làm giảm các chi phí đến mức tối đa mà vẫn đảm bảo độ bền và tuổi thọ là việc làm đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và kinh tế trong lĩnh vực chống giữ công trình ngầm.

2. Mô hình toán học

Trên cơ sở phân tích các nghiên cứu của các tác giả (Backlasov I.V., Kartoria B.A. 1984; Bulutrev N.S. 1994; Bulutrev N.S., Phôchiva N.N., Strensov E.V. 1986), nhóm tác giả đưa ra mô hình tính toán như trên Hình 1. Trên sơ đồ cho thấy, để nghiên cứu vỏ chống nhiều lớp đã sử dụng các ranh giới của các lớp được giới hạn bởi các vòng tròn đồng tâm (tâm là gốc tọa độ ban đầu). Sơ đồ tính trên Hình 1 được mô phỏng như sau:

- Lớp bên ngoài là vòng tròn S_1 , có chiều dày vỏ cùng lớn (điều này có được khi cho $R_0 \rightarrow \infty$) sẽ mô hình hóa khối đá trong trạng thái tự nhiên, với đặc tính biến dạng: mô đun biến dạng E_1 , và hệ số Poisson μ_1 mô hình hóa khối đất đá ở trạng thái tự nhiên;

- Các lớp $S_i (i = 2, 3, \dots, N^*)$ sẽ mô hình hóa vùng đất xây dựng trong khối đất không đồng nhất;

- Các lớp tiếp theo phía trong $S_j (j = N^*+1, N^*+2, \dots, N)$ sẽ mô hình hóa các lớp vỏ chống của đường hầm.

Các lớp $S_i (i = 2, 3, \dots, N^*)$ tương ứng có bán kính lần lượt là $R_i (i = 1, \dots, N)$. Vật liệu trong mỗi lớp có đặc tính riêng và biến dạng không giống nhau. Trong trường hợp tổng quát, đặc tính biến dạng của lớp thứ i sẽ là $E_i, \mu_i (i = 1, \dots, N)$, trong đó: E_i, μ_i - lần lượt là mô đun biến dạng và hệ số Poisson của lớp thứ i . Các lớp được xem xét là cùng biến dạng và có đường tiếp xúc giữa hai lớp kề nhau là $L_i (i = 1, \dots, N-1)$. Trên các đường tiếp xúc $L_i (i = 1, \dots, N-1)$ thoả mãn điều kiện liên tục của chuyển vị và ứng suất.

Vòng biên bên ngoài L_0 và bên trong L_N chịu tác động trực tiếp của các tác động bên ngoài. Tác động đến các lớp $S_i (i = 1, 2, \dots, N^*)$ trong trạng thái tự nhiên, thường sinh ra từ quy trình công nghệ đào hầm và được mô phỏng bởi các thành phần ứng suất ban đầu:

$$\sigma_x^{(0)(i)} = \sigma_y^{(0)(i)} = -\gamma H \alpha^* \quad (i = 1, 2, \dots, N^*) \quad (1)$$

Trong đó: α^* - hệ số điều chỉnh tính toán lấp

dụng kết cấu chống đỡ từ biên hàm với khối đất đá biến dạng không tuyến tính đến thời điểm lấp dụng kết cấu chống (Bulutrev N.S. 1994).

Ứng suất tổng (Nguyễn Duyên Phong, 2016) trong mỗi lớp $S_i (i=1, 2, \dots, N)$ có dạng:

$$\sigma^{(i)} = \sigma^{(1)(i)} + \delta_{i, N^*+1} \sigma^{(0)(i)} \quad (2)$$

Trong (2): $\sigma^{(1)(i)}$ - ứng suất bổ sung lớp thứ i với $(i = 1, 2, \dots, N)$; δ ký hiệu tất cả các thành phần ứng suất; $\delta_{n,m}$ được xác định như sau:

$$\delta_{n,m} = \begin{cases} 1, & \text{khi } n < m \\ 0, & \text{khi } n \geq m \end{cases} \quad (3)$$

Ở đây $n = 1, 2, \dots, N$; $m = 1, 2, \dots, N$.

Như vậy trong (2) ứng suất tổng bao gồm ứng suất bổ sung và ứng suất ban đầu.

Điều kiện giới hạn trên biên tiếp xúc $L_i (i=1, 2, \dots, N)$ ứng suất và chuyển dịch được có dạng tổng quát như sau:

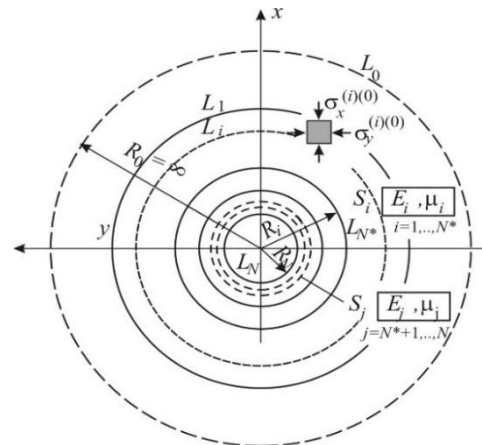
$$\sigma_r^{(1)(i+1)} = \sigma_r^{(1)(i)} + \lambda_{i, N^*} \sigma_r^{(0)(i)}; \quad u_{i+1} = u_i \quad (4)$$

Trong (4): $\lambda_{n,m} (n = 1, 2, \dots, N; m = 1, 2, \dots, N)$ và được xác định bằng biểu thức:

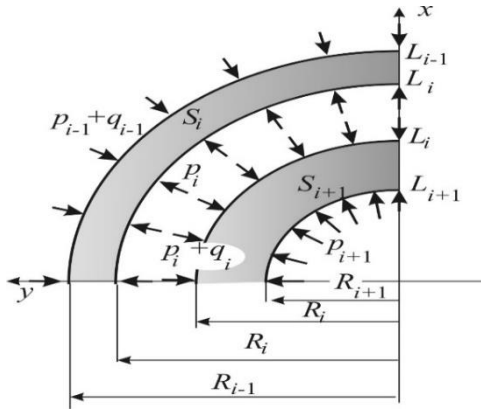
$$\lambda_{n,m} = \begin{cases} 1, & \text{khi } n = m \\ 0, & \text{khi } n \neq m \end{cases} \quad (5)$$

Trên hình 2 biểu diễn ứng suất bổ sung theo phương bán kính tương ứng với áp lực $p_i = \sigma_r^{(1)(i)} = \sigma_r^{(1)(i+1)}$. Đưa vào ký hiệu $q_i = \lambda_{i, N^*} \sigma_r^{(0)(i)}$, chọn ra hai lớp vỏ chống tự do lân cận có chỉ số tương ứng là i và $i+1 (i = 1, \dots, N-1)$ và biên tiếp xúc L_i (Hình 2).

Từ nghiên cứu sự cân bằng của hệ, có thể chọn ra tác động để thay thế, loại bỏ đi lớp nào đó bằng áp lực pháp tuyến. Chẳng hạn, trên biên L_{i-1} áp lực tác động p_{i-1} có thể mô phỏng tác động của



Hình 1. Sơ đồ tính toán vỏ chống đường hầm nhiều lớp, xây dựng trong khối đất đá không đồng



Hình 2. Sơ đồ tính toán tương tác giữa các lớp lân cận.

lớp loại bỏ $S_i (i = 1, \dots, i-1)$; tác động lớp loại bỏ phía trong $S_j (j = i+1, \dots, N)$ được mô phỏng bằng áp lực phân bố đều p_{i+1} trên biên L_{i+1} .

Áp dụng các kết quả nghiên cứu (Nguyễn Duyên Phong 2016, Bulutrev N.S., Phôchiva N.N., Strensov E.V. 1986), sẽ xác định dịch chuyển trên biên L_{i-1} của lớp thứ i của $S_i (i=1, \dots, N)$ chịu tải $(p_{i-1} + q_{i-1})$, sẽ là:

$$u_{i|L_{i-1}} = \frac{1}{2G_i} \left\{ \begin{aligned} & (1-2\mu_i) \frac{p_i R_i^2 - (p_{i-1} + q_{i-1}) R_{i-1}^2}{R_{i-1}^2 - R_i^2} R_{i-1} + \\ & \frac{(p_i - p_{i-1} - q_{i-1}) R_{i-1}^2 R_i}{R_{i-1}^2 - R_i^2} \end{aligned} \right\}$$

$$u_{i|L_i} = \frac{1}{2G_i} \left\{ \begin{aligned} & (1-2\mu_i) \frac{p_i R_i^2 - (p_{i-1} + q_{i-1}) R_{i-1}^2}{R_{i-1}^2 - R_i^2} R_i + \\ & \frac{(p_i - p_{i-1} - q_{i-1}) R_i R_{i-1}^2}{R_{i-1}^2 - R_i^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Áp dụng biểu thức (6) với chú ý rằng:

$$p_0 = q_0 = p_N = q_N = 0 \quad (7)$$

Từ hai điều kiện (4) có chú ý đến (6) và (7) cho thấy: biến dạng của hai lớp lân cận S_i và S_{i+1} trên đường tiếp xúc L_i là bằng nhau, do đó có thể viết:

$$\frac{1}{2G_i} \left\{ \begin{aligned} & (1-2\mu_i) \frac{p_i R_i^2 - (p_{i-1} + q_{i-1}) R_{i-1}^2}{R_{i-1}^2 - R_i^2} R_i + \\ & \frac{(p_i - p_{i-1} - q_{i-1}) R_{i-1}^2 R_i}{R_{i-1}^2 - R_i^2} \end{aligned} \right\} =$$

$$\frac{1}{2G_{i+1}} \left\{ \begin{aligned} & (1-2\mu_{i+1}) \frac{p_{i+1} R_{i+1}^2 - (p_i + q_i) R_i^2}{R_i^2 - R_{i+1}^2} R_i + \\ & \frac{(p_{i+1} - p_i - q_i) R_{i+1}^2 R_i}{R_i^2 - R_{i+1}^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

đặt $c_i = \frac{R_i}{R_{i-1}}$ ($i=1, \dots, N-1$); thay c_i vào (8) ta có:

$$(1-2\mu_i) \frac{p_i c_i^2 - (p_{i-1} + q_{i-1})}{1-c_i^2} + \frac{(p_i - p_{i-1} - q_{i-1})}{1-c_i^2} =$$

$$= \frac{G_i}{G_{i+1}} \left\{ \begin{aligned} & (1-2\mu_{i+1}) \frac{p_{i+1} c_{i+1}^2 - (p_i + q_i)}{1-c_{i+1}^2} + \\ & \frac{(p_{i+1} - p_i - q_i) c_{i+1}^2}{1-c_{i+1}^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

hay:

$$\frac{G_i}{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2)} \left\{ 2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2 p_{i+1} - (1-2\mu_{i+1} + c_{i+1}^2) (p_i + q_i) \right\} =$$

$$= \frac{1}{1-c_i^2} \left\{ (1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2) p_i - 2(1-\mu_i) (p_{i-1} + q_{i-1}) \right\}$$

$$\frac{G_i}{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2)} 2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2 p_{i+1} = \frac{G_i}{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2)} (1-2\mu_{i+1} + c_{i+1}^2) \times$$

$$\times (p_i + q_i) + \frac{1}{1-c_i^2} (1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2) p_i - \frac{2}{1-c_i^2} (1-\mu_i) (p_{i-1} + q_{i-1})$$

Cuối cùng biểu thức có thể viết dưới dạng:

$$p_{i+1} = \frac{1}{2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} \left[\frac{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2)}{G_i (1-c_i^2)} (1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2) + \right] p_i -$$

$$- \frac{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2) (1-\mu_i)}{G_i (1-c_i^2) (1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} p_{i-1} + \frac{1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2}{2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} q_i -$$

$$- \frac{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2) (1-\mu_i)}{G_i (1-c_i^2) (1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} q_{i-1} \quad (10)$$

Biểu thức (10) có thể viết rút gọn dưới dạng:

$$p_{i+1} = K_{i,i} p_i + K_{i,i-1} p_{i-1} + Q_i \quad (11)$$

trong (11) các ký hiệu được xác định như sau:

$$K_{i,i} = \frac{1}{2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} \left[\frac{(1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2)}{\xi_i} + 1 - 2c_i^2 \mu_{i+1} + c_{i+1}^2 \right];$$

$$K_{i,i-1} = - \frac{(1-\mu_i)}{\xi_i (1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2};$$

$$Q_i = \frac{1-2c_i^2 \mu_i + c_i^2}{2(1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} q_i - \frac{G_{i+1} (1-c_{i+1}^2) (1-\mu_i)}{G_i (1-c_i^2) (1-\mu_{i+1}) c_{i+1}^2} q_{i-1}. \quad (12)$$

$$\xi_i = \frac{G_i}{G_{i+1}} \frac{1-c_i^2}{1-c_{i+1}^2}$$

Ở đây:

Biểu thức (11) với $i=1$ được viết dưới dạng:

$$p_2 = K_{1,1} p_1 + K_{1,0} p_0 + Q_1 \quad (13)$$

Nếu chú ý đến (7) thì (13) biến đổi thành:

$$p_2 = K_{1,1} p_1 + Q_1 = M_2 p_1 + L_2 \quad (14)$$

trong (14): $M_2=K_{1,1}$; $L_2=Q_1$ (15)

Sử dụng biểu thức (14), (15) đưa vào biểu thức (11), cho $i = 2$ ta nhận được kết quả:

$$p_3=K_{2,2}p_2+K_{2,1}p_1+Q_2=$$
 (16)

$$=K_{2,2}(M_2p_1+L_1)+K_{2,1}p_1+Q_2=M_3p_1+L_3$$

trong (16): $M_3 = K_{2,2}M_2 + K_{2,1}$; (17)

$$L_3 = K_{2,2}L_2 + Q_2.$$

Làm tương tự như trên sẽ cho ta lần lượt các $p_i (i = 3, 4, \dots, N-1)$, như sau:

$$p_4 = K_{3,3}p_3 + K_{3,2}p_2 + Q_3 = K_{3,3}(M_3p_1 + L_2) +$$
 (18)
$$+ K_{3,2}(M_2p_1 + L_1) + Q_3 = M_4p_1 + L_4$$

trong (18): $M_4 = K_{3,3}M_3 + K_{3,2}M_2$; (19)

$$L_4 = K_{3,3}L_3 + K_{3,2}L_2 + Q_3.$$

Các biểu thức (13)-(19) có thể viết dưới dạng tổng quát, cho phép biểu thị tất cả giá trị ẩn số chưa biết p_i thông qua p_1 như sau:

$$p_i = M_i p_1 + L_i, (i=2, \dots, N) \quad (20)$$

Trong (20):

$$M_i = \sum_{j=2}^{i-1} K_{i-1,j} M_j;$$
 (21)

$$L_i = \sum_{j=2}^{i-1} K_{i-1,j} M_j + Q_{i-2}.$$

Để ý đến (15) và (12), đưa (21) vào (20); chú ý đến giá trị $M_i, L_i (i = 2, \dots, N)$ và trong (20) cho $i = N$, ta nhận được:

$$p_N = M_N p_1 + L_N \quad (22)$$

Mặt khác, trên cơ sở (15) có:

$$p_N = M_N p_1 + L_N = 0 \quad (23)$$

Từ đó nhận được: $p_1 = -\frac{L_N}{M_N}$ (24)

Thay thế (24) vào (20) cho phép chúng ta tính toán tất cả các giá trị ẩn số $p_i (i = 2, \dots, N)$.

Ứng suất hướng kính toàn phần trên biên ngoài L_{i-1} và biên trong L_i của lớp thứ i xác định như sau:

$$\sigma_r^{(i,i-1)} \Big|_{L_{i-1}} = p_{i-1} - \delta_{i,N^*+1} \gamma H \alpha^*$$
 (25)

$$\sigma_r^{(i,i)} \Big|_{L_i} = p_i - \delta_{i,N^*+1} \gamma H \alpha^*$$

Trong đó: $\sigma_r^{(i,i-1)}, \sigma_r^{(i,i)}$ - ứng suất hướng kính trên biên ngoài L_{i-1} và biên trong L_i của lớp thứ $i (i = 1, 2, \dots, N)$.

Ứng suất tiếp trên biên được xác định bằng biểu thức:

$$\sigma_\theta^{(i,i-1)} \Big|_{L_{i-1}} = \frac{2c_{i-1}^2}{c_{i-1}^2 - 1} \sigma_r^{(i,i-1)} - \frac{c_{i-1}^2 + 1}{c_{i-1}^2 - 1} \sigma_r^{(i,i)} \quad (26)$$

$$\sigma_\theta^{(i,i)} \Big|_{L_i} = \frac{2}{1 - c_{i-1}^2} \sigma_r^{(i,i-1)}$$

trong đó: $\sigma_\theta^{(i,i-1)}, \sigma_\theta^{(i,i)}$ - ứng suất tiếp tuyến trên biên ngoài L_{i-1} và biên trong L_i của lớp thứ $i (i = 1, 2, \dots, N)$.

Từ đây, có thể xác định được ứng suất trong các lớp vỏ chống của công trình ngầm, kiểm tra độ bền lớp tiếp xúc và khả năng mang tải của kết cấu công trình ngầm bằng công thức (Guidelines on design of underground excavations and supports 1983):

$$N = \frac{\sigma_\theta^{(in)} + \sigma_\theta^{(ex)}}{2} b \Delta; M = \frac{\sigma_\theta^{(in)} - \sigma_\theta^{(ex)}}{12} b \Delta^2 \quad (27)$$

Trong (27): $\Delta = R_0 - R_1 = R_0 \left(1 - \frac{R_1}{R_0}\right)$ - chiều

dày kết cấu chống, $b = 1$ m; trong đó $\sigma_\theta^{(in)}$; $\sigma_\theta^{(ex)}$ - ứng suất bên trong và bên ngoài vỏ chống theo phương tiếp tuyến.

Cuối cùng biểu thức (27) có dạng:

$$N = -\frac{1}{2} \left[\frac{2}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} q_0 + \frac{1 + \frac{R_1^2}{R_0^2}}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} q_0 \right] b (R_0 - R_1)$$

$$M = -\frac{1}{12} \left[\frac{2}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} q_0 - \frac{1 + \frac{R_1^2}{R_0^2}}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} q_0 \right] b (R_0 - R_1)^2$$

$$N = -\frac{q_0 R_0}{2} \frac{3 + \frac{R_1^2}{R_0^2}}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} b \left(1 - \frac{R_1}{R_0}\right) = -\frac{q_0 R_0}{2} b \left(\frac{3 + \frac{R_1^2}{R_0^2}}{1 + \frac{R_1}{R_0}} \right)$$

$$M = -\frac{q_0 R_0^2}{12} \frac{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}}{1 - \frac{R_1^2}{R_0^2}} b \left(1 - \frac{R_1}{R_0}\right)^2 = -\frac{q_0 R_0^2}{12} b \left(1 - \frac{R_1}{R_0}\right)^2 \quad (28)$$

Khả năng mang tải được đánh giá bằng biểu thức:

$$|N| \leq NS \quad (29)$$

trong (29): N - lực pháp tuyến tính toán, xác định từ biểu thức (28); NS - giới hạn khả năng mang tải theo hướng bán kính của mặt cắt kết cấu chống, được xác định như sau:

$$NS = kR_b \Delta b \left(1 - \frac{2e_0}{\Delta} \right); k = 1; e_0 = \left| \frac{M}{N} \right| - \text{độ}$$

lệch tâm theo lực dọc N .

3. Thuật toán tính toán

Áp dụng các kết quả trình bày trên đây nhóm tác giả đã xác định trạng thái ứng suất-biến dạng của kết cấu công trình ngầm nhiều lớp, xây dựng trong khối đá không đồng nhất theo thuật toán gồm 7 bước như sau:

Bước 1. Cho thông số đầu vào, gồm: N^* - số lớp, mô hình hóa công nghệ đất đá không đồng nhất; N - tổng quát số lớp, mô hình hóa hệ thống "vỏ chống nhiều lớp-khối đất", là số nguyên; $R_i (i = 1, \dots, N)$ - bán kính các lớp kết cấu chống (m); E_i, μ_i - đặc tính biến dạng khối đất trong trạng thái tự nhiên-mô đun biến dạng (MPa) và hệ số Poisson phù hợp; $E_i, \mu_i (i = 2, \dots, N)$ - mô đun biến dạng (MPa) và hệ số Poisson của vật liệu từng lớp kết cấu chống, mô hình hóa quy trình công nghệ xây dựng hầm trong đất đá không đồng nhất ($i = 2, 3, \dots, N^*$) và kết cấu chống ($i = N^*+1, N^*+2, \dots, N$); γ - trọng lượng riêng trung bình của đá (MN/m^3); H - chiều sâu đặt hầm (m); l_0 - khoảng cách trễ lắp dựng kết cấu chống từ gương hầm (m);

Bước 2. Xác định giá trị điều chỉnh - hệ số:

$$\alpha^* = e^{-1.3 l_0 / R_0};$$

Bước 3. Tính $G_i = \frac{E_i}{2(1+\mu_i)}$; $i = 1, \dots, N$;

Bước 4. Giả sử $c_1 = 0$, tính

$$c_{i+1} = \frac{R_{i+1}}{R_i}; \xi_i = \frac{G_i}{G_{i+1}} \frac{1-c_i^2}{1-c_{i+1}^2}, (i = 1, \dots, N-1);$$

tính giá trị: $\lambda_{n,m} = \begin{cases} 1, & \text{khi } n = m \\ 0, & \text{khi } n \neq m \end{cases}$; đưa ra giá

trị tham số: $q_i = \lambda_{i,N^*} \gamma H \alpha^*$;

Bước 5. Tính:

$$K_{i,i} = \frac{1}{2(1-\mu_{i+1})c_{i+1}^2} \left[\frac{(1-2c_i^2\mu_i + c_i^2)}{\xi_i} + 1 - 2c_i^2\mu_{i+1} + c_{i+1}^2 \right];$$

$$Q_i = \frac{1-2c_i^2\mu_i + c_i^2}{2(1-\mu_{i+1})c_{i+1}^2} q_i - \frac{G_{i+1}}{G_i} \frac{(1-c_{i+1}^2)(1-\mu_i)}{(1-c_i^2)(1-\mu_{i+1})c_{i+1}^2} q_{i-1}.$$

với $i = 1, 2, \dots, N$;

Tính: $K_{i,i-1} = -\frac{(1-\mu_i)}{\xi_i(1-\mu_{i+1})c_{i+1}^2}$; với $i = 2, \dots, N$;

Bước 6. Tính: $p_1 = \frac{L_N}{M_N}$; tính: $p_i = M_i p_1 + L_i$

với $i = 2, 3, \dots, N$;

Bước 7. Xác định ứng suất bán kính trên biên ngoài L_{i-1} và biên trong L_i :

$$\sigma_r^{(i,i-1)} \Big|_{L_{i-1}} = p_{i-1} - \delta_{i,N^*+1} \gamma H \alpha^* ;$$

$$\sigma_r^{(i,i)} \Big|_{L_i} = p_i - \delta_{i,N^*+1} \gamma H \alpha^* ;$$

và ứng suất tiếp tuyến trên biên:

$$\sigma_\theta^{(i)} \Big|_{L_{i-1}} = \frac{2c_{i-1}^2}{c_{i-1}^2-1} \sigma_r^{(i,i-1)} - \frac{c_{i-1}^2+1}{c_{i-1}^2-1} \sigma_r^{(i,i)}, \quad \sigma_\theta^{(i)} \Big|_{L_i} = \frac{2}{1-c_{i-1}^2} \sigma_r^{(i,i-1)}$$

Thuật toán gồm 7 bước trên đây là cơ sở để lập trình tính toán vỏ chống đường hầm nhiều lớp mặt cắt ngang hình tròn, xây dựng trong khối đất không đồng nhất do công nghệ xây dựng tạo nên.

4. Kết luận

- Kết quả nhận được từ nghiên cứu trên đây được sử dụng để xác định ứng suất theo phương tiếp tuyến và ứng suất theo phương bán kính với quy trình công nghệ đào hầm qua nhiều lớp đất đá không đồng nhất và mô phỏng vỏ chống bằng nhiều lớp vòng tròn đồng tâm cho phép đánh giá khả năng mang tải của kết cấu vỏ chống công trình ngầm.

- Trên cơ sở nghiên cứu này đã đưa ra thuật toán gồm 7 bước làm cơ sở để lập trình tính toán vỏ chống đường hầm nhiều lớp mặt cắt ngang hình tròn, xây dựng trong khối đất không đồng nhất do công nghệ xây dựng tạo nên có thể áp dụng để thiết kế kết cấu chống công trình ngầm trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

Baklashov I.V., Kartoziya B.A., 1984. Mekhanika podzemnykh sooruzheniy i konstruktssii krepey (Mechanics of underground structures and support designs), Moscow, Nedra, 324 p.

Bulychev N.S., 1994. Mekhanika podzemnykh sooruzheniy: Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd. (Mechanics of underground structures: Textbook for high schools, 2nd edition), Moscow, Nedra, 382 p.

Bulychev N.S., Phôchiva N.N., Strensov E.V., 1986. Design and calculation of the support of the capital workings. Moscow. Nhedra.-288 p.

Nguyễn Duyên Phong, 2016. Design lining tunnels underground Ho Chi Minh city (Vietnam) based on the research of equilibrium state of «support-array». No 3, Moscow. Gornaia knhiga. P 45-54.

Nguyễn Quang Phích, 2007. *Cơ học đá*, Nhà Xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

Nguyễn Xuân Mãn, 1998. Tính toán kết cấu chống giữ công trình ngầm. *Bài giảng cao học*, đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội. - 90 trg.

Rukovodstvo po proektirovaniyu podzemnykh gornykh vyrabotok i raschetu krepri, 1983. VNIMI, VNIOMShS Minugleproma SSSR (Guidelines on design of underground excavations and supports. VNIMI, VNIOMShS, USSR Ministry of Coal Industry), Moscow, Stroyizdat, 273 p.

Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc, 2008. *Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội. 460 trg.

ABSTRACT

Computational Modeling of Multi-Layer Lining for tunnel in heterogeneous soils

Phong Duyen Nguyen ¹, Thanh Trung Dang ¹, Man Xuan Nguyen ¹, Pakratrenko A.N.², Sammal A.S.³

¹ Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² National University of Science and Technology Misis, Russian

³ Tula State University, Russian

The article presents the study results and gives the explanation on prestress condition of multi-layer lining in order to reinforce circular cross-section tunnels, which built in heterogeneous soils. In this study, the displacement of tunnel multi-layer lining and soil mass around the tunnel are- united support system "multi-layer lining - soil mass". The supporting jackets and surrounding soil mass are considered as the only in deformable system of " multi-layer lining - soil mass".