

# TÍNH TẢI TRỌNG SÓNG NỔ TÁC DỤNG LÊN CÔNG TRÌNH ĐẶT TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT BÃO HÒA NƯỚC THEO MÔ HÌNH ĐÀN HỒI NHỚT PHI TUYẾN

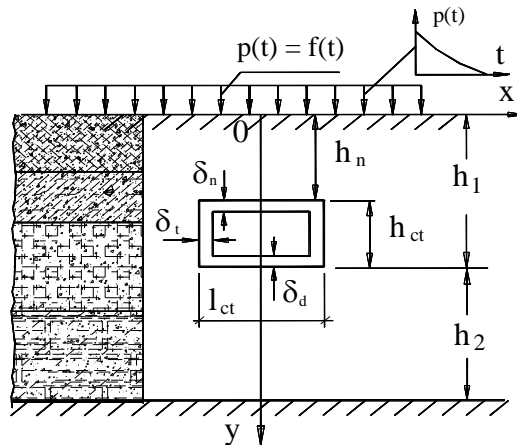
GS. TSKH. NGUYỄN VĂN HỢI  
ThS. NGUYỄN DUY TÚY  
TS. NGUYỄN QUANG TRUNG  
Học viện Kỹ thuật Quân sự

## 1. Đặt vấn đề

Bài toán tải trọng tác dụng lên công trình đặt trong môi trường đất đồng nhất, đàn hồi tuyến tính dưới tác dụng của tải trọng động trên bề mặt môi trường do nổ trong không khí gây ra có kể đến ảnh hưởng chuyển vị của công trình như vật rắn tuyệt đối đã được đề cập đến trong các tài liệu [1,7]. Phát triển hướng nghiên cứu trên, trong bài báo này trình bày các kết nghiên cứu đối với tải trọng tác dụng lên công trình đặt trong môi trường đất bão hòa nước với mô hình của môi trường là phân lớp, đàn hồi phi tuyến có kể đến tính nhớt của môi trường.

## 2. Mô hình tính của bài toán

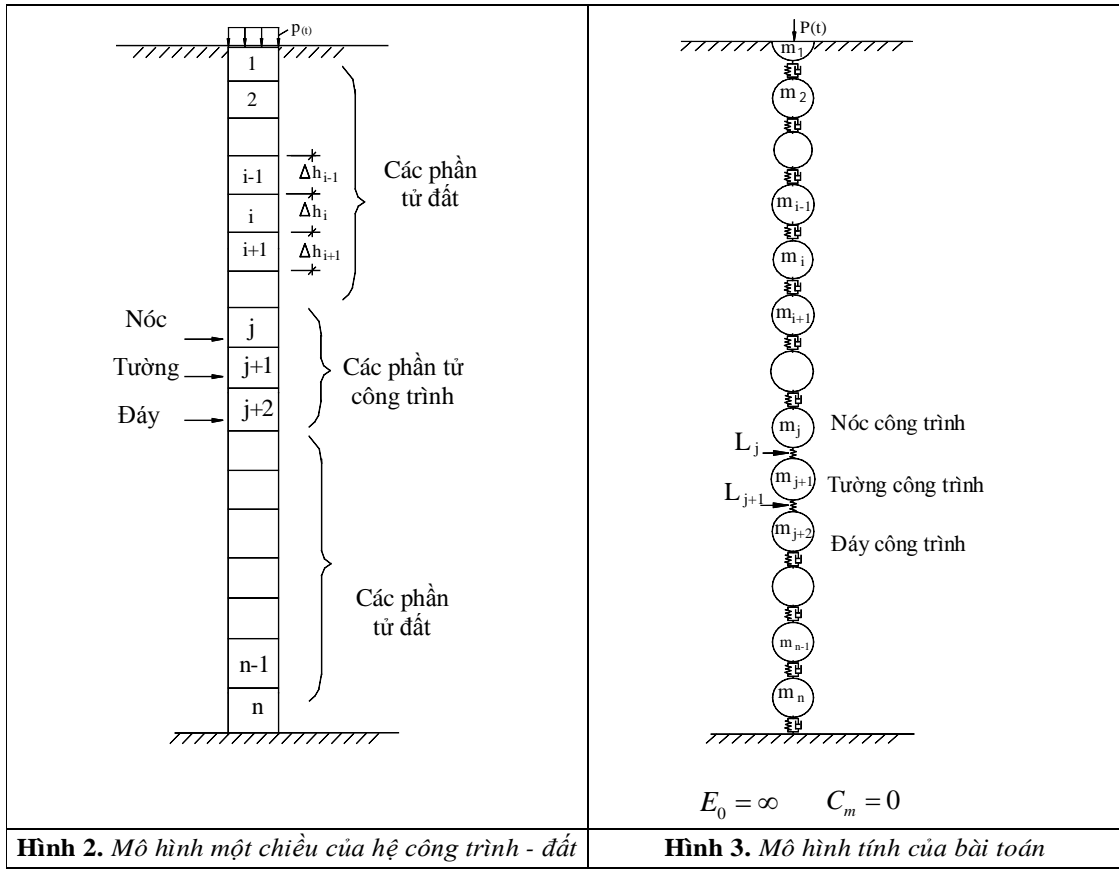
Khảo sát công trình có  $h_{ct} = 2m$ ,  $l_{ct} = 3m$  đặt trong môi trường đất đá bão hòa nước ở độ sâu  $h_n = 4m$  dưới tác dụng của tải trọng động đặt trên bề mặt môi trường do nổ trong không khí gây ra (hình 1). Cần xác định tải trọng tác dụng lên công trình có kể đến sự tương tác giữa sóng, môi trường và kết cấu.



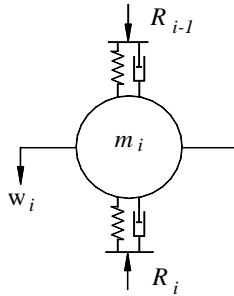
Hình 1. Mô hình thực tế của bài toán

Để giải bài toán đặt ra ta thừa nhận các giả thiết sau:

- Tải trọng do sóng nổ gây ra trên mặt đất có phương thẳng đứng, phân bố đều và phân bố trên diện rộng gấp nhiều lần mặt bằng của công trình;
  - Môi trường đất đá xung quanh công trình ngầm là môi trường bão hòa nước, đồng nhất hoặc phân lớp theo chiều sâu, trong từng lớp môi trường ứng xử theo quy luật đàn hồi nhớt phi tuyến;
  - Vật liệu của kết cấu biến dạng đàn hồi tuyến tính.
- Từ các giả thiết về tải trọng nói trên, bài toán đặt ra sẽ dẫn tới bài toán một chiều theo phương thẳng đứng. Tách từ hệ môi trường – kết cấu một cột đất theo phương đứng có chiều cao hữu hạn, có tiết diện ngang  $S$  bằng diện tích mặt bằng của công trình. Cột đất được chia thành  $n$  phần tử (bao gồm  $n-3$  phần tử đất và 3 phần tử công trình) như hình 2. Tiếp đó, khối lượng phân bố của từng phần tử được thay bằng khối lượng tập trung  $m_i$  ( $i=1 \div n$ ) đặt tại tâm phần tử. Riêng công trình sẽ được thay bằng 3 khối lượng tập trung tương ứng với khối lượng của nóc, tường và đáy công trình. Liên kết giữa các khối lượng tập trung của môi trường được thay bằng liên kết đàn hồi phi tuyến – nhớt tương ứng với các đặc trưng cơ học của môi trường, còn liên kết giữa các khối lượng tập trung của công trình được thay bằng các liên kết đàn hồi tuyến tính tương ứng với các đặc trưng cơ học của công trình (xem hình 3).



### 3. Thiết lập các phương trình, thuật toán



**Hình 4.** Sơ đồ cân bằng động của phần tử

Tách từng khối lượng ra khỏi hệ kết cấu – môi trường (hình 4). Theo giả thiết thứ 2 đã thừa nhận ở trên và từ điều kiện cân bằng động của các khối lượng ta nhận được các phương trình chuyển động của hệ sau đây:

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{w}_1 &= P - R_1^{dh}(\Delta_1) - C_1 \dot{\Delta}_1, & (a) \\
 m_i \ddot{w}_i &= R_{i-1}^{dh}(\Delta_{i-1}) + C_{i-1} \dot{\Delta}_{i-1} - R_i^{dh}(\Delta_i) - C_i \dot{\Delta}_i, & (b) \\
 (i &= 2, 3, \dots, n; i \neq j, j+1, j+2), \\
 m_j \ddot{w}_j &= R_{j-1}^{dh}(\Delta_{j-1}) + C_{j-1} \dot{\Delta}_{j-1} - L_j \Delta_j, & (c) \\
 m_{j+1} \ddot{w}_{j+1} &= L_j \Delta_j - L_{j+1} \Delta_{j+1}, \\
 m_{j+2} \ddot{w}_{j+2} &= L_{j+1} \Delta_{j+1} - R_{j+2}^{dh}(\Delta_{j+2}) - C_{j+2} \dot{\Delta}_{j+2}, \\
 \Delta_i &= w_i - w_{i+1}, \dot{\Delta}_i = \dot{w}_i - \dot{w}_{i+1}, (i = 1, 2, \dots, n) & (d) \\
 w_{n+1} &= \dot{w}_{n+1} = 0.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Trong đó:  $w_i, \dot{w}_i, \ddot{w}_i$  - tương ứng là chuyển vị, vận tốc và gia tốc chuyển vị thẳng đứng của khối

lượng thứ  $i$ ,  $P$  - là hợp lực của tải trọng do sóng nồ gây ra trên bề mặt môi trường tác dụng trên cột đất thứ  $i$ ,  $R_i^{dh}$  - là phản lực đàn hồi trong liên kết thứ  $i$  (là hàm phi tuyến đối với biến dạng  $\Delta_i$  có quy luật cho trước),  $C_i$  - là độ cứng cản nhớt của liên kết thứ  $i$ ;  $\Delta_i$  và  $\dot{\Delta}_i$  - là biến dạng và tốc độ biến dạng dọc trục của liên kết thứ  $i$ ,  $L_i$  - là độ cứng đàn hồi tại tâm của tấm nóc và đáy theo phương đứng.

Hệ (1) là hệ phương trình vi phân cấp 2 phi tuyến đối với các hàm chưa biết  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Hệ phương trình trên (đã thỏa mãn các điều kiện biên) khi thỏa mãn các điều kiện ban đầu của bài toán sẽ cho phép xác định được nghiệm của bài toán đặt ra. Các tham số hằng trong hệ phương trình trên được xác định theo các biểu thức:

- Khối lượng tập trung  $m_i$  của các phần tử môi trường:

$$m_i = \frac{\rho_i \Delta h_i + \rho_{i-1} \Delta h_{i-1}}{2} S, \quad (2)$$

Trong đó:  $\Delta h_i$  - là chiều dài của phần tử thứ  $i$  của cột đất môi trường,  $\rho_i$  - là mật độ khối lượng của phần tử thứ  $i$  của môi trường,  $S$  - là tiết diện ngang của cột đất (lấy bằng diện tích mặt bằng của công trình).

- Khối lượng tập trung tương đương tại tâm nóc và tâm đáy công trình :

$$m_j = \frac{m_{j-1}}{2} + m_n, \quad (\text{tương ứng với vị trí tấm nóc}), \quad (3)$$

$$m_{j+2} = \frac{m_{j+3}}{2} + m_d, \quad (\text{tương ứng với vị trí tấm đáy}), \quad (4)$$

Trong đó:  $m_{j-1}, m_{j+3}$  - là khối lượng phần tử  $j-1$  và  $j+3$  của môi trường,

$$m_n = m_d = \frac{3}{8} \rho_{ct} \delta S, \quad (\text{đối với dầm nóc có 2 đầu gàm}), \quad (5)$$

$$m_n = m_d = \frac{1}{2} \rho_{ct} \delta S, \quad (\text{đối với dầm nóc tựa khớp 2 đầu}), \quad (6)$$

$\rho_{ct}$  - khối lượng riêng của kết cấu công trình,  $\delta$  - chiều dày của dầm.

- Độ cứng  $L_i$  của tấm nóc và đáy công trình:

$$L_i = \frac{48 E_i^{ct} J_i^{ct}}{l_i^3}, \quad (i = j, j+1) \quad (\text{khi dầm tựa khớp 2 đầu}), \quad (7)$$

$$L_i = \frac{192 E_i^{ct} J_i^{ct}}{l_i^3}, \quad (i = j, j+1) \quad (\text{khi dầm ngàm 2 đầu}), \quad (8)$$

Trong đó:  $l_i$  - là chiều dài của nhịp dầm,  $E_i^{ct}$  mô đun đàn hồi của vật liệu kết cấu,

$J_i^{ct}$  - là mô men quán tính của tiết diện ngang của dầm.

- Độ cứng cản nhớt của môi trường:  $C_i = \frac{\eta_i S}{\Delta h_i}$ , (9)

Với:  $\eta_i$  - là hệ số nhớt của môi trường được xác định bằng thực nghiệm;

$R_i^{dh}(\Delta)$  - là phản lực trong các liên kết đàn hồi phi tuyến của phần tử môi trường:

$$R_i^{dh}(\Delta_i) / S = \sigma_i = f(\varepsilon_i) = f\left(\frac{\Delta_i}{\Delta h_i}\right) = f\left(\frac{w_i - w_{i+1}}{\Delta h_i}\right), \quad (10)$$

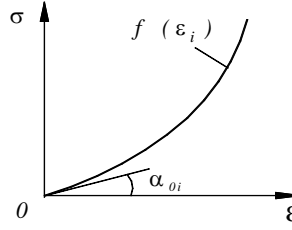
Trong đó:  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$  - là quan hệ ứng suất - biến dạng đàn hồi phi tuyến cho trước của môi trường bão hòa nước. Trong bài báo thừa nhận mối quan hệ trên dưới dạng (hình 5):  $\sigma_i = E_{0i} \varepsilon_i^{\varphi_i}$ , (11)

Trong đó:  $E_{0i}, \varphi_i$  - là các hằng số của môi trường được xác định bằng thực nghiệm.

Tính đến (11), quan hệ (10) sẽ có dạng:

$$R_i^{dh}(\Delta_i) = SE_{0i} \left( \frac{\Delta_i}{\Delta h_i} \right) = SE_{0i} \left( \frac{w_{i+1} - w_i}{\Delta h_i} \right)^{\alpha_i} = R_i^{dh}(w_i). \quad (12)$$

( $i = 1, 2, \dots, n; i \neq j, j+1, j+2$ ).



**Hình 5.** Quan hệ  $\sigma_i - \epsilon_i$  của môi trường đất bão hòa nước

- Hợp lực tải trọng đã cho tác dụng trên đầu cột đất  $P(t)$ . Tải trọng tác dụng trên bề mặt môi trường do nổ gây ra có dạng:

$$p_{(t)} = p_{\max} \left( 1 - \frac{t}{\theta} \right)^{n_t}, \quad 0 \leq t \leq \theta \quad (13)$$

Trong đó:  $p_{\max}$  - là giá trị áp lực cực đại;

$\theta$  - là thời gian tác dụng của tải trọng;

$n_t$  - là chỉ số nhị thức Newton. Do đó, hợp lực tải trọng đã cho tác dụng trên đầu cột đất sẽ là :

$$P(t) = S p_{(t)} = S p_{\max} \left( 1 - \frac{t}{\theta} \right)^{n_t}. \quad (14)$$

Hệ phương trình (1) với  $R_i^{dh}$  xác định theo (12) là hệ phương trình vi phân phi tuyến đối với hàm chưa biết  $w_i(t)$ .

Hệ phương trình trên vi phân phi tuyến (1) có thể viết lại dưới dạng ma trận:

$$\ddot{\mathbf{w}} = \mathbf{F}(t, \mathbf{w}, \dot{\mathbf{w}}), \quad (15)$$

Trong đó:

$\mathbf{F} = [f_1(t, w_1, \dot{w}_1), f_2(t, w_2, \dot{w}_2) \dots f_n(t, w_n, \dot{w}_n)]^T$  - là hàm phi tuyến đối với  $\mathbf{W}$ ,  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ .

Điều kiện ban đầu :  $\mathbf{w}(0) = \dot{\mathbf{w}}(0) = \ddot{\mathbf{w}}(0) = 0$ .

Để giải hệ phương trình trên sử dụng phương pháp số Runghe-Kutta [8].

Sau khi tìm được nghiệm của hệ phương trình (15), trong đó có  $w_{j-1}$ ,  $\dot{w}_{j-1}$ , ...,  $w_{j+2}$ ,  $\dot{w}_{j+2}$ , tải trọng phân bố tác dụng lên nóc  $p_n$  và lên đáy công trình  $p_d$ , được tính theo các công thức:

$$p_n(t) = \frac{1}{0,64} f \left( \frac{w_{j-1} - w_j}{\Delta h_{j-1}} \right) + \frac{\eta_{j-1}}{\Delta h_{j-1}} (\dot{w}_{j-1} - \dot{w}_j), \quad (16)$$

$$p_d(t) = \frac{1}{0,64} f \left( \frac{w_{j+2} - w_{j+3}}{\Delta h_{j+2}} \right) + \frac{\eta_{j+2}}{\Delta h_{j+2}} (\dot{w}_{j+2} - \dot{w}_{j+3}), \quad (17)$$

Trên cơ sở các phương trình, thuật toán nhận được ở trên đã lập trình để giải bài toán trên máy tính. Chương trình có tên **BH01** được viết bằng ngôn ngữ MATLAB.

#### 4. Tính toán bằng số

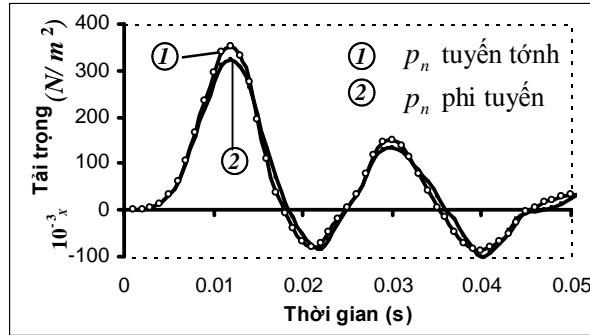
Công trình bằng bê tông cốt thép, môi trường đất bão hòa nước đàn nhớt tuyến tính có 2 lớp, tải trọng trên mặt đất theo quy luật (13). Số liệu xuất phát cho trong bảng 1.

**Bảng 1.** Các số liệu xuất phát

Lớp đất	$\mu$ ( $N.s^2/m^3$ )	$\rho$ ( $N.s^2/m^4$ )	$E$ ( $N/m^2$ )	$k_t$	$\theta$ (s)
1	$1,47.10^4$	$1,9.10^3$	$3.8.10^7$	0,9	0,05

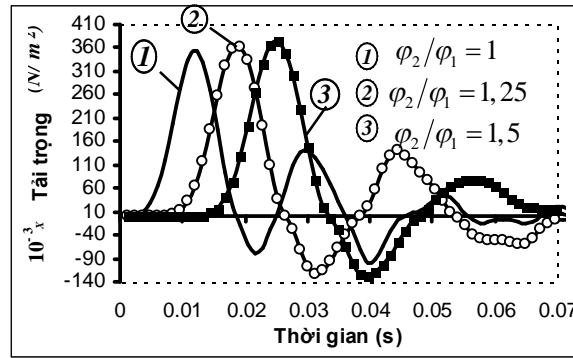
2	$1,47 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^7$	0,9	
---	-------------------	------------------	------------------	-----	--

Quan hệ ứng suất biến dạng của môi trường là quan hệ phi tuyến xác định theo công thức (11). Kết quả tính toán tải trọng lên nóc công trình theo 2 mô hình môi trường đàn nhớt tuyến tính và đàn nhớt phi tuyến khi nóc và đáy có liên kết tựa khớp ở 2 đầu được thể hiện dưới dạng đồ thị trên hình 5.



**Hình 5.** Đồ thị tải trọng lên nóc công trình được tính theo môi trường đàn nhớt tuyến tính và đàn nhớt phi tuyến khi nóc và đáy có liên kết tựa khớp ở 2 đầu

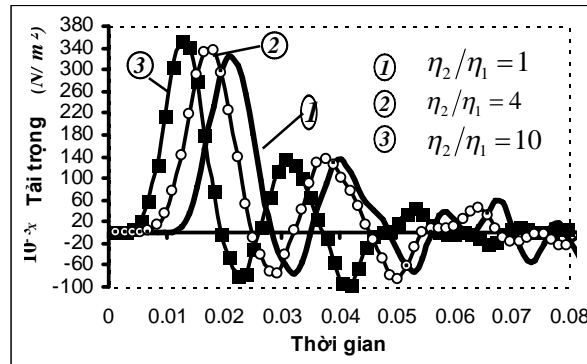
Đồ thị ảnh hưởng của tỉ lệ hệ số phi tuyến của giữa các lớp đất trên nóc và dưới đáy công trình  $\varphi_2/\varphi_1$  đến tải trọng tác dụng lên nóc công trình thể hiện trên hình 6.



**Hình 6.** Đồ thị ảnh hưởng của mức độ phi tuyến giữa lớp đất dưới và trên đáy công trình đến tải trọng tác dụng lên nóc công trình

Tỉ lệ hệ số phi tuyến giữa các lớp đất tăng lên thì tải trọng tác dụng lên công trình tăng lên.

Đồ thị ảnh hưởng của tỉ lệ hệ số nhớt giữa lớp đất trên nóc và dưới đáy công trình  $\eta_2/\eta_1$  đến tải trọng tác dụng lên nóc công trình được biểu diễn trên hình 7.



**Hình 7.** Đồ thị ảnh hưởng của mức độ cản nhớt giữa lớp đất dưới và trên đáy công trình đến tải trọng tác dụng lên nóc công trình

Tỉ lệ hệ số nhớt giữa các lớp đất tăng lên thì tải trọng tác dụng lên công trình tăng lên.

## 5. Nhận xét và kết luận

- Giá trị lớn nhất của tải trọng tác dụng lên nóc công trình tính theo mô hình môi trường đàn hồi phi tuyến nhỏ hơn môi trường tuyến tính 7,1%;
- Tải trọng tác dụng lên nóc công trình tăng khi tỷ số hệ số phi tuyến và tỷ số hệ số nhớt tăng lên;
- Khi tỉ lệ độ bão hòa nước của lớp thứ 2 so với lớp thứ nhất tăng thì tải trọng tác dụng lên công trình tăng, còn tỉ lệ này giảm thì tải trọng tác dụng lên công trình giảm. Mức độ tăng, giảm của tải trọng là khác nhau. Do đó, ảnh hưởng tổng hợp đồng thời của các giá trị 2 tham số trên đến tải trọng tác dụng lên công trình có thể tăng hoặc giảm. Khi thiết kế công trình, nếu muốn có một kết quả thuận lợi, chẳng hạn muốn làm giảm tải trọng tác dụng lên công trình, thì hoàn toàn có thể lựa chọn được tỉ lệ mức độ bão hòa nước của các lớp thỏa mãn yêu cầu đặt ra.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. ĐẶNG VĂN ĐÍCH, VŨ ĐÌNH LỢI. Giáo trình công sự tập 1. *Học viện kỹ thuật quân sự, 1995.*
2. VŨ ĐÌNH LỢI. Lý thuyết truyền sóng. *Học viện kỹ thuật quân sự, 2002.*
3. БАКИРОВ Р. О., ЛОЙ, Р.В. Расчет и проектирование на ЭВМ заглубленных в грунт железобетонных конструкций на совместное действие статических нагрузок и нагрузок от взрывных волн. *М., ВИА, 1987.*
4. БОДАНСКИЙ М. Д И ДРУГИЕ. Расчет конструкций убежищ, *М. Стройиздат, 1974.*
5. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия, *Справочник проектировщика, М., Стройиздат. 1981.*
6. КОТЛЯРЕВСКИЙ В. А, ГАНУШКИЙ ВИ КОСТИН АА, Убежища, *1989.*
7. ЛЯХОВ. Г.М, Н.И. ПОЛЯКОВА. Волны в плотных средах и нагрузки на сооружения. *Издательство “недра” Москва, 1967.*
8. МАШИНОСТРОЕНИЕ, Вибрации в технике, *Том 2, Москва, 1979.*