

# TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THỦY LỰC THÁP ĐIỀU ÁP CỦA TRẠM BƠM

PTS. Lương Tuấn Anh, KS .Trần Bích Nga  
Trung tâm Nghiên cứu Thủy văn

Để giảm nguy cơ ngập lụt ở thành phố Hà Nội trong mùa mưa, một công trình đầu mối quan trọng trong dự án "Thoát nước và cải thiện môi trường thành phố Hà Nội" là việc thiết kế xây dựng trạm bơm Yên Sở để bơm nước từ hồ Yên Sở ra sông Hồng khi hướng thoát chính trước đây theo phương pháp tự chảy ra sông Nhuệ không thể thực hiện được.

Trạm bơm Yên Sở theo hồ sơ thiết kế giai đoạn I[3], gồm các máy bơm với tổng công suất thiết kế  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , tháp điều áp và 3 đường hầm áp lực qua đê hình vuông, kích thước  $3\text{m} \times 3\text{m}$  có cao độ đáy  $2,5 \text{ m}$  (hình 1). Tháp điều áp được xây dựng để làm giảm áp lực nước va lên các khoá của máy bơm khi các máy bơm bắt đầu hoặc dừng hoạt động đột ngột. Tính toán thiết kế thủy lực tháp điều áp của trạm bơm là việc xác định kích thước của tháp thông qua việc tính toán sự dao động của nước trong tháp điều áp.

## 1. Các phương trình cơ bản

Hệ phương trình cơ bản để tính toán dao động của nước trong tháp điều áp là phương trình Bernoulli đối với dòng chảy không ổn định [1]:

(a) Phương trình động lực:

$$Z = h_w + h_t = h_w + \frac{L}{g} \frac{dV_s}{dt} \quad (1)$$

Trong đó:

- Z: Độ cao nước dâng hoặc nước hạ trong tháp so với mức ổn định, m;
- $h_w$ : Tổng tổn thất cột nước trong đường hầm qua đê, m;
- $h_t$ : Tổn thất do quán tính, m.

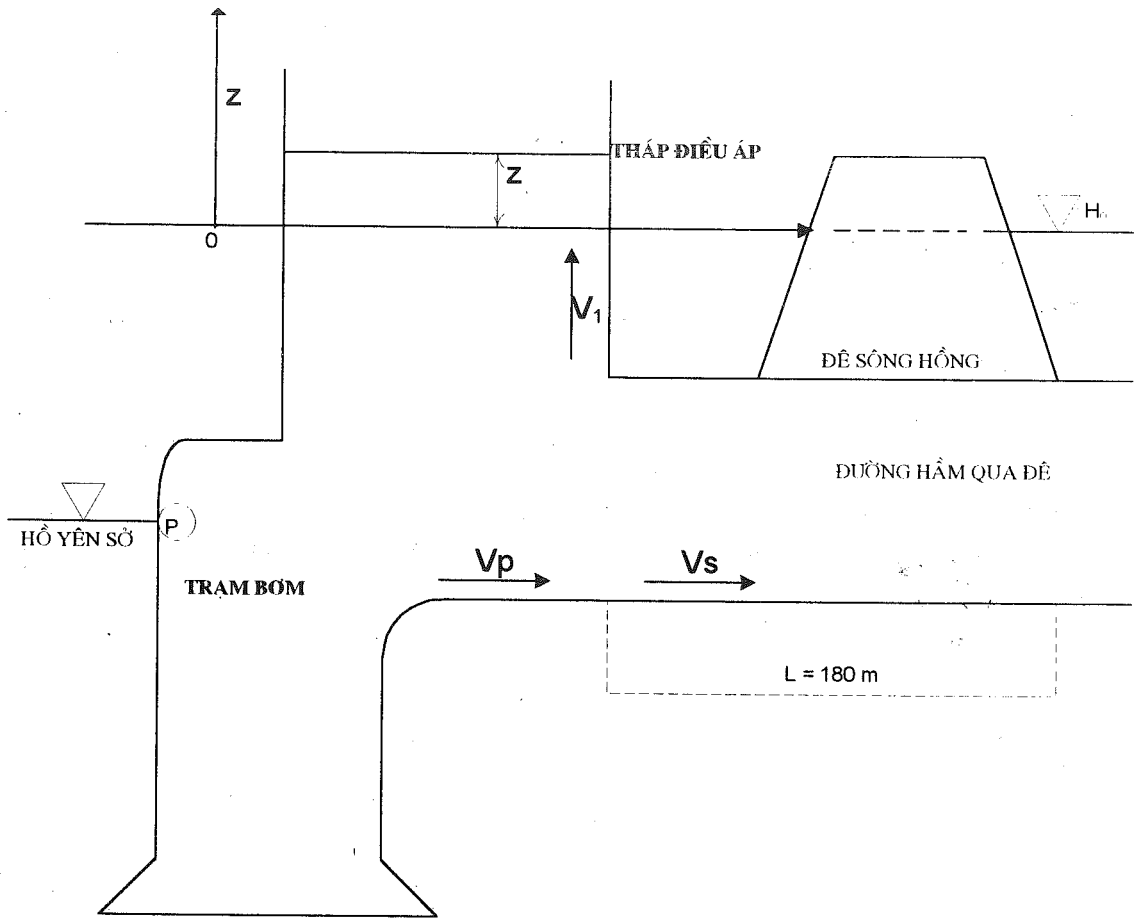
Nếu bỏ qua tổn thất cục bộ, phương trình (1) có thể viết thành:

$$Z = \lambda \frac{L}{4R} \frac{V_s^2}{2g} + \frac{L}{g} \frac{dV_s}{dt}$$

hoặc:  $\frac{dV_s}{dt} = \frac{gZ}{L} - \frac{\lambda}{8R} V_s^2$  (2)

Trong đó:

- $\lambda$ : Hệ số tổn thất dọc đường.
- L: Chiều dài của đường hầm qua đê, m.
- R: Bán kính thủy lực của đường hầm, m.
- $V_s$ : Vận tốc dòng chảy qua đường hầm, m/s.



Hình 1: Sơ đồ trạm bơm Yên Sở

(b) Phương trình liên tục:

$$Q_p = Q_1 + Q_s \quad (3)$$

Trong đó:

- $Q_p$ : Lưu lượng của các máy bơm;
- $Q_1$ : Lưu lượng nước vào tháp;
- $Q_s$ : Lưu lượng nước chảy qua đường hầm.

Lưu lượng chảy vào tháp được tính từ phương trình:

$$Q_1 = V_1 \cdot W_1 = \frac{dZ}{dt} \cdot W_1$$

Trong đó:

$W_1$ : Mặt cắt ngang của tháp điều áp,

$$V_1 = \frac{dZ}{dt} \quad \text{Vận tốc dòng chảy trong tháp.}$$

Lưu lượng chảy qua đường hầm được tính theo công thức:

$$Q_s = V_s W_s$$

Như vậy, phương trình (3) được viết dưới dạng:

$$Q_p = W_1 \frac{dZ}{dt} + W_s V_s$$

$$\text{hay } \frac{dZ}{dt} = \frac{Q_p}{W_1} - \frac{W_s}{W_1} V_s \quad (4)$$

Phương trình (2) và (4) tạo thành hệ phương trình vi phân cơ bản để tính dao động nước trong tháp điều áp. Nghiệm của hệ là  $Z(t)$  và  $V_s(t)$  với điều kiện ban đầu cho trước  $Z(t=0) = Z_0$ ;  $V_s(t=0) = V_{s0}$ .

Tính toán dao động của nước trong tháp điều áp được thực hiện cho hai trường hợp:

**Bơm bắt đầu hoạt động đồng thời:**

Các điều kiện trong trường hợp này như sau:

$$\begin{cases} Q_p = Q_0 = 45 \text{ m}^3 / \text{s} \\ V_{s0} = 0 \\ Z_0 = 0 \end{cases}$$

Khi đó, hệ phương trình (2), (4) có dạng:

$$\begin{cases} \frac{dV_s}{dt} = \frac{gZ}{L} - \frac{\lambda}{8R} V_s^2 \\ \frac{dZ}{dt} = \frac{Q_0}{W_1} - \frac{W_s}{W_1} V_s \end{cases} \quad (5)$$

**Bơm dừng hoạt động đột ngột:**

Các điều kiện cho trước trong trường hợp này như sau:  $Q_p = 0$ ;  $V_{s0} = V_0 = 1,677 \text{ m/s}$ ;  $Z_0 = h_{w0}$ . Hệ (2) và (4) có dạng:

$$\begin{cases} \frac{dV_s}{dt} = \frac{gZ}{L} - \frac{\lambda}{8R} V_s^2 \\ \frac{dZ}{dt} = - \frac{W_s}{W_1} V_s \end{cases} \quad (6)$$

## 2. Phương pháp giải hệ phương trình vi phân

Hệ phương trình vi phân (5) hoặc (6) được giải bằng phương pháp Runge-Kutta [2]. Theo phương pháp Runge-Kutta bậc n, thuật toán giải hệ (5) hoặc (6) được thực hiện như sau:

*Bước 1:* Tính:

$$\Delta V_s^1 = \Delta t \cdot f_1(Z_j, V_{sj})$$

$$\Delta Z^1 = \Delta t \cdot f_2(V_{sj})$$

*Bước k:*

$$\Delta V_s^k = \Delta t \cdot f_1\left(Z_j + \frac{k-1}{n} \Delta Z^{(k-1)}, V_{sj} + \frac{k-1}{n} \Delta V_s^{(k-1)}\right)$$

$$\Delta Z^k = \Delta t \cdot f_2\left(V_{sj} + \frac{k-1}{n} \Delta V_{sj}^{(k-1)}\right)$$

Nghiệm số của hệ đối với bước thời gian  $\Delta t$  được tính như sau:

$$V_{sj+1} = V_{sj} + \Delta V_s$$

$$Z_{j+1} = Z_j + \Delta Z$$

Trong đó:

$$\Delta V_s = \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \Delta V_s^{(k)}$$

$$\Delta Z = \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \Delta Z^{(k)}$$

j: Chỉ số thời gian.

$\gamma_k$ : Trọng số với  $\sum_{k=1}^n \gamma_k = 1$

(với  $n = 3$ ;  $\gamma_1 = 0,25$ ;  $\gamma_2 = 0$ ;  $\gamma_3 = 0,75$ ).

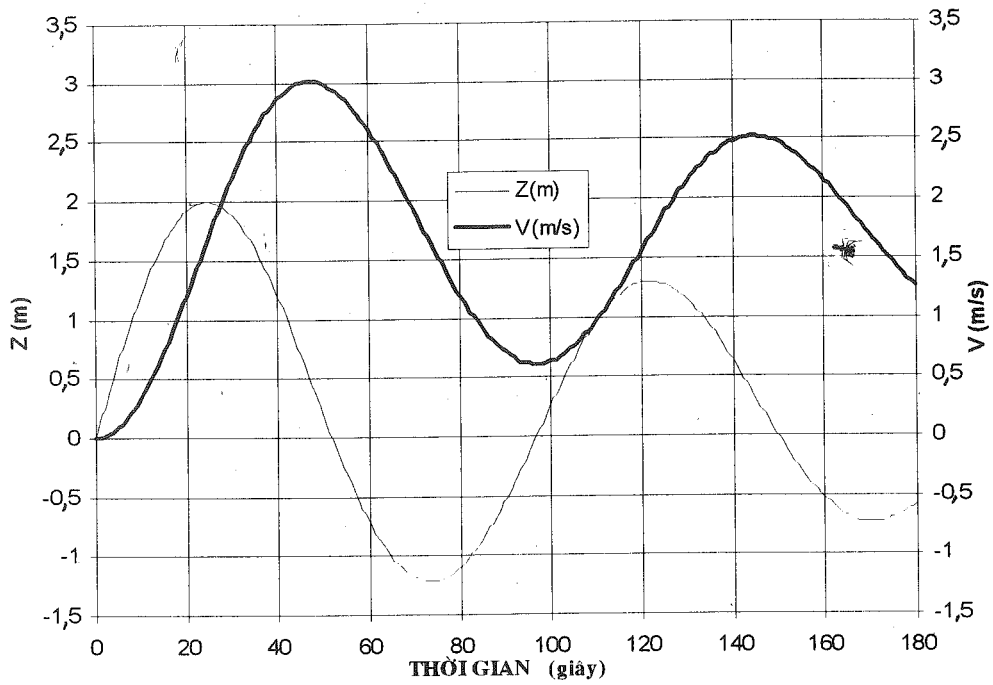
## 3. Kết quả tính toán

Mực nước ngoài đê sông Hồng ứng với tần suất thiết kế 10 năm lặp lại  $Z_0 = 11,6$  m được lựa chọn là mực nước chuẩn ổn định của tháp. Các điều kiện cho trước là:

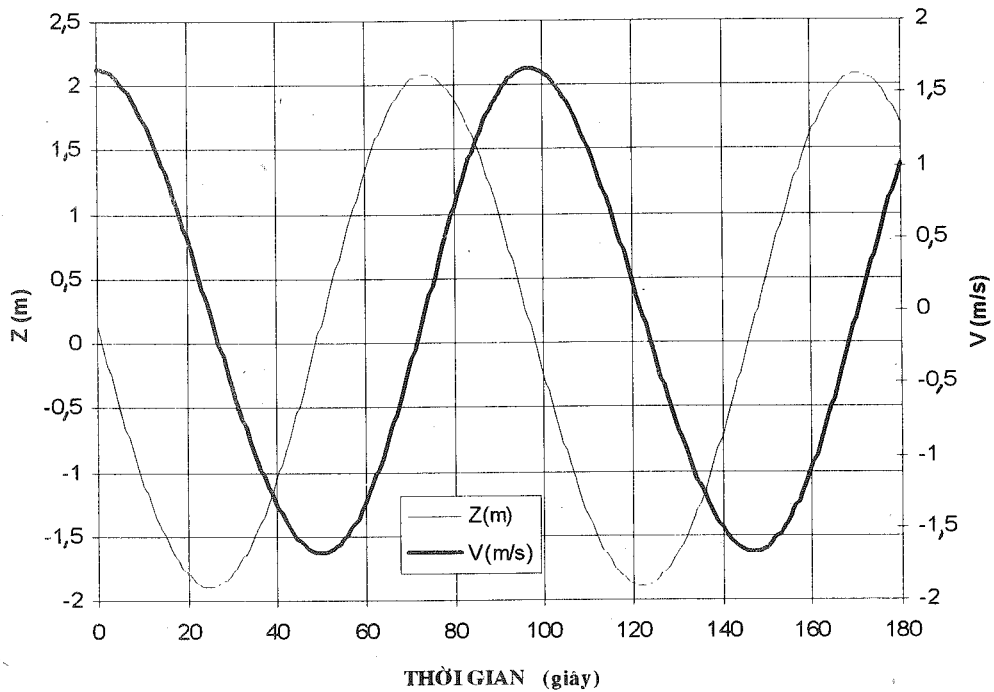
- Chiều dài đường hầm: 180 m.
- Hệ số nhám Manning: 0,014.
- Kích thước mặt cắt của tháp điều áp  $W_1 = 6\text{m} \times 58,35\text{m}$ .
- Kích thước mặt cắt của đường hầm: 3 (3m x 3m).

Quá trình tính toán được thực hiện với khoảng thời gian  $\Delta t = 1\text{s}$ . Kết quả tính toán được thể hiện ở bảng 1.

Hình 2.1. NƯỚC VÀ KHÍ BƠM BẮT ĐẦU HOẠT ĐỘNG ĐỒNG THỜI



Hình 2.2. NƯỚC VÀ KHÍ BƠM NGỪNG HOẠT ĐỘNG ĐỘT NGỘT



**Bảng 1. Kết quả tính toán dao động mực nước trong tháp điều áp của trạm bơm Yên Sở**

<b>Trạng thái</b>	<b>Z<sub>o</sub></b> (m)	<b>T<sub>max</sub></b> (s)	<b>Z<sub>max</sub></b> (m)	<b>T<sub>min</sub></b> (s)	<b>Z<sub>min</sub></b> (m)
Bắt đầu hoạt động	11,6	25	1,996	73	-1,219
Dừng hoạt động	11,6	73	2,079	25	-1,888

Theo kết quả tính toán ở bảng 1, chiều cao tối thiểu của tháp là:

$$H = Z_o + Z_{max} = 11,6 + 2,079 = 13,679 \text{ m.}$$

Nếu chọn mực nước ngoài đê sông Hồng ứng với tần suất 100 năm lặp lại  $Z_o = 13,5\text{m}$ , khi đó chiều cao tối thiểu của tháp điều áp là:

$$13,5\text{m} + 2,079\text{m} = 15,579 \text{ m}$$

Quá trình  $V_s(t)$ ,  $Z(t)$  tính toán được thể hiện ở hình 2.

Như vậy, có thể ứng dụng thuật toán vừa trình bày trong việc tính toán thiết kế tháp điều áp. Phương pháp tính toán đơn giản, kết quả tính toán lại thể hiện được bản chất vật lý của hiện tượng nước va khi bắt đầu hoặc dừng đột ngột hoạt động của trạm bơm.

#### Tài liệu tham khảo

1. Vũ Văn Tảo, Nguyễn Cảnh Cầm. Thủy lực. Tập I, NXB Nông Nghiệp, Hà Nội 1987.
2. Chow, V.T., Maidment, D.R, Mays, L.W. Applied Hydrology. McGRAW-HILL, 1978.
3. The study on urban drainage and wastewater disposal system in Hanoi city. Appendix (D). Drainage plan. JICA-HPC. 1995.