

TÍNH TOÁN TRẠM BƠM MÓNG RỜI CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Trần Quang Công¹, Nguyễn Ngọc Thăng²

¹ Công ty TNHH MTV kinh doanh nước sạch Hưng Yên. Email: quangcongsg@gmail.com

² Trường Đại học Thủy lợi. Email: nnthang@wru.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hiện nay trong quá trình sử dụng máy bơm và trạm bơm nhiều đề tài nghiên cứu đã được thực hiện, cải tiến hoàn thiện chế tạo bơm, thiết kế xây dựng trạm bơm. Nhiều công nghệ mới đã được áp dụng, ngày càng tạo cho ngành những loại máy bơm thích hợp hơn, hiệu suất cao hơn, kết cấu công trình và hệ thống hợp lý hơn. Do sự phát triển hết sức nhanh chóng làm nảy sinh hàng loạt vấn đề về chế tạo bơm, quản lý, vận hành, bảo dưỡng máy bơm, kỹ thuật điều hành trạm bơm. Ngoài việc xem xét vị trí đặt trạm bơm, nghiên cứu địa chất thủy văn lưu vực tưới tiêu thì các yêu cầu về tính toán kết cấu, ổn định công trình, trạng thái ứng suất biến dạng và dao động của trạm bơm trong quá trình vận hành sử dụng dưới tác dụng của các loại tải trọng (tải trọng tĩnh, tải trọng động ...) phải thỏa mãn điều kiện bền, cứng và ổn định đồng thời đảm bảo tính hiệu quả kinh tế cao là rất cần thiết.

Tuy nhiên hiện nay việc thiết kế trạm bơm của các đơn vị tư vấn thiết kế hầu như không xét đến bài toán dao động của trạm bơm. Trong quá trình vận hành nếu không tính toán sự vận hành hợp lý của các máy có thể xảy ra trường hợp tần số của lực kích thích do các máy bơm khi vận hành gây ra gần với với tần số dao động riêng của nhà trạm. Nếu hai tần số dao động này trùng nhau thì hiện tượng cộng hưởng sẽ xảy ra và gây hư hỏng nghiêm trọng đến máy bơm và nhà trạm.

Đối với trạm bơm căn cứ vào kết cấu móng nhà trạm có thể chia thành hai loại: nhà trạm móng rời (là loại có móng tách rời khung) và nhà trạm móng liền (là loại có móng máy và khung nhà liền một khối). Trong khuôn khổ bài báo, các tác giả nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng của trạm bơm có nhà trạm móng rời dưới tác dụng của tải trọng tĩnh và động, coi phần móng đặt máy bơm như một tấm chịu uốn chữ nhật đẳng hướng; đồng thời đưa ra các giải pháp vận hành trạm bơm hợp lý.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Theo lý thuyết, phương trình giải bài toán tấm mỏng là phương trình vi phân cân bằng Sophie Germain – Lagrange

$$\begin{aligned}\nabla^4 w &= \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = \\ &= \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = \frac{p}{D}\end{aligned}\quad (1)$$

trong đó:

w - độ võng của mặt trung bình của tấm;

x, y - hệ tọa độ của mặt phẳng tấm

p - tải trọng tác dụng theo phương vuông góc với mặt tấm;

D - độ cứng chống uốn của tấm

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2)$$

Theo lý thuyết động lực học công trình, phương trình vi phân dao động ngang tổng quát của hệ có n bậc tự do, cân nhất tuyến tính được viết dưới dạng ma trận như sau:

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + [K]\{y(t)\} = \{P(t)\} \quad (3)$$

trong đó:

[M] - ma trận khối lượng, là ma trận đường chéo ;

[C] - ma trận cản ;

[K] là ma trận độ cứng.

$\{y(t)\}$; $\{\dot{y}(t)\}$; $\{\ddot{y}(t)\}$, lần lượt là véc tơ chuyển vị, véc tơ vận tốc và véc tơ gia tốc chuyển động của hệ;

P(t) là véc tơ ngoại lực động. Đối với trạm bơm, P(t) là lực kích thích của máy bơm, được xác định theo công thức

$$P(t) = P_0 \sin(rt) \quad (4)$$

trong đó:

P₀ - biên độ lực ly tâm.

$r = \frac{\pi n}{30}$ - tần số lực kích thích của máy bơm.

n - số vòng quay của động cơ máy bơm trong vòng một phút.

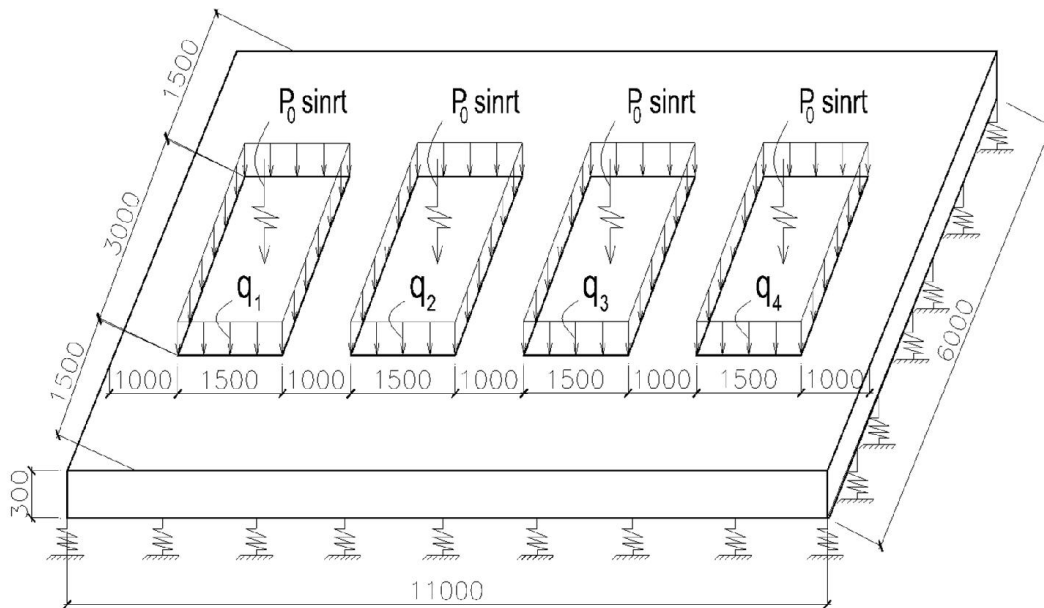
Với trạm bơm móng rời, các máy bơm trục ngang, tải trọng động tác dụng theo phương thẳng đứng. Nói chung, việc giải bài toán tấm bằng phương pháp giải tích là rất khó khăn. Vì vậy, ngày nay, với sự phát triển của công nghệ thông tin, người ta thường giải các bài toán kết cấu phức tạp bằng phương pháp số, phổ biến nhất là phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH).

Trong tính toán trạng thái ứng suất - biến dạng của trạm bơm, các tác giả sử dụng phần mềm SAP2000 Version 15.1.0 với mô hình phần tử tấm tứ giác 4 nút.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Trong nghiên cứu, các tác giả tính toán trạm bơm móng rời (lộ thiên) gồm 4 máy bơm có các thông số đầu vào như sau:

- Kích thước của sàn (tấm) bê tông đặt máy bơm: 11m x 6m x 0,3m.
- Mô đun đàn hồi của bê tông : $E = 2,65.10^7 \text{ kN/m}^2$.
- Trọng lượng riêng của bê tông: $\gamma = 2,5 \text{ T/m}^3$.
- Hệ số Poisson: $\nu = 0,2$.
- Khối lượng 01 máy bơm: $G = 2400 \text{ kg}$
- Công suất máy bơm: $Q = 2100 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Cột nước: $H = 7,4 \text{ m}$.



Hình 1: Mô hình tính toán

- Số vòng quay: $n = 590 \text{ vòng/phút}$.
- Lực kích thích của máy bơm $P(t): P(t) = P_0 \sin(rt) = 2,4 \sin(61,78t)$.
- $r = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \cdot 590}{30} = 61,78$ - tần số lực kích thích của máy bơm.
- Biên độ lực ly tâm $P_0 = 0,7 \text{ T}$.
- Hệ số nền $C = 388 \text{ T/m}^3$.

Mô hình tính toán được thể hiện trên *Hình 1*. Mô hình có các điều kiện biên như sau: dọc theo biên của tấm là các liên kết gối tựa di động; ở mặt dưới của tấm, ảnh hưởng của nền được thay bằng các lò xo có độ cứng bằng hệ số nền.

Trong tính toán, các tác giả chọn các trường hợp (TH) tính toán sau đây:

- TH tính: Tải trọng bản thân tấm + bốn máy bơm đặt tĩnh tải.
- TH1: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1 hoạt động.
- TH2: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 2 hoạt động.
- TH3: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1 và máy bơm số 2 cùng hoạt động.
- TH4: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1 và máy bơm số 3 cùng hoạt động.
- TH5: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1 và máy bơm số 4 cùng hoạt động.
- TH6: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 2 và máy bơm số 3 cùng hoạt động.
- TH7: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1, máy bơm số 2 và máy bơm số 3 cùng hoạt động.
- TH8: Trọng lượng bản thân tấm + máy bơm số 1, máy bơm số 2 và máy bơm số 4 cùng hoạt động.
- TH9: Trọng lượng bản thân tấm + cả bốn máy bơm cùng hoạt động.

Trong khuôn khổ có hạn của báo cáo tóm tắt, các tác giả chỉ đưa ra kết quả chuyển vị của các điểm đặt máy bơm trong *Bảng 1*.

Kết quả tính toán cho thấy các giá trị ứng suất, chuyển vị đều nằm trong phạm vi cho phép của các tiêu chuẩn thiết kế. Bên cạnh đó, các giá trị nội lực, ứng suất, chuyển vị trong bài toán động đều tăng lên rõ rệt so với kết quả bài toán tĩnh. Điều này chứng tỏ ảnh hưởng của tải trọng động đến công trình là không nhỏ.

Sau khi tính toán với các tổ hợp khác nhau nhận thấy tổ hợp gồm trọng lượng bản thân tấm và cả bốn máy bơm cùng hoạt động là tổ hợp TH9 có giá trị nội lực, ứng suất cũng như chuyển vị lớn nhất. Các giá trị nội lực, ứng suất và chuyển vị tăng dần đều theo số lượng máy bơm hoạt động.

Từ kết quả tính toán, ta có thể đưa ra các phương án chạy máy tối ưu (các giá trị nội lực, ứng suất và chuyển vị nhỏ nhất) như sau:

- Nếu chỉ cần vận hành 01 máy bơm, cách vận hành tối ưu nhất là vận hành máy 1 (tổ hợp TH1) hoặc máy 4.

- Nếu chỉ cần vận hành 02 máy bơm, cách vận hành tối ưu nhất là vận hành đồng thời máy 1 và máy 4 (tổ hợp TH5), tổ hợp TH6 là trường hợp bất lợi nhất khi vận hành 02 máy bơm.

- Nếu cần vận hành đồng thời 03 máy bơm, cách vận hành tối ưu nhất là vận hành đồng thời máy 1, máy 2 và máy 4 (tổ hợp TH8) hoặc chạy đồng thời các máy 1, máy 3 và máy 4.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả chuyển vị của các điểm đặt máy bơm

| Chuyển vị của các điểm đặt máy bơm (m) | Máy 1 | Máy 2 | Máy 3 | Máy 4 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TH tĩnh | -0,002564 | -0,002633 | -0,002633 | -0,002564 |
| TH1 | -0,002867 | -0,002789 | -0,002674 | -0,002595 |
| TH2 | -0,002725 | -0,002817 | -0,002765 | -0,002605 |
| TH3 | -0,003023 | -0,002973 | -0,002806 | -0,002636 |
| TH4 | -0,002908 | -0,002921 | -0,002857 | -0,002751 |
| TH5 | -0,002897 | -0,002834 | -0,002832 | -0,002897 |
| TH6 | -0,002761 | -0,002948 | -0,002948 | -0,002761 |
| TH7 | -0,003064 | -0,003104 | -0,002989 | -0,002792 |
| TH8 | -0,003053 | -0,003013 | -0,002962 | -0,002938 |
| TH9 | -0,003094 | -0,003145 | -0,003145 | -0,003094 |

Để kiểm tra khả năng xảy ra hiện tượng cộng hưởng, ta đi thiết lập tỷ số giữa tần số lực kích thích của máy bơm và tần số dao động riêng của hệ $\frac{r}{\omega}$. Đối với các công trình xây dựng, khi tính toán công trình chịu tải trọng động thường bỏ qua ảnh hưởng của lực cản. Khi đó, nếu $0,75 \leq \frac{r}{\omega} \leq 1,25$ thì công trình làm việc trong miền cộng hưởng.

Kết quả tính toán tần số dao động riêng của hệ cho thấy dạng dao động riêng thứ nhất (chu kỳ dao động $T = 0,088213$ s) có $0,75 \leq \frac{r}{\omega} = 0,8674 \leq 1,25$ trạm bơm sẽ làm việc trong miền cộng hưởng. Các tần số dao động riêng còn đều nằm trong giới hạn an toàn.

Để tránh hiện tượng cộng hưởng, ta thường làm giảm tỷ số $\frac{r}{\omega}$ bằng cách:

- Tăng độ cứng của công trình (bằng cách tăng chiều dày của tấm) để tăng tần số dao động riêng của công trình.

- Giảm tần số dao động của lực kích thích r.

Tuy nhiên trong quá trình đóng mở máy có thể xảy ra trường hợp tần số dao động kích thích tăng hoặc giảm dần; ở một thời điểm nào đó tần số dao động kích thích có thể trùng với tần số

dao động riêng của công trình. Lúc này ta cần làm cho tần số dao động kích thích thay đổi nhanh chóng để hiện tượng cộng hưởng không kịp xảy ra.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu của mình, các tác giả đã tính toán trạng thái ứng suất biến dạng và dao động của trạm bơm móng rời (lộ thiên), từ đó đưa ra các kết luận về sự làm việc của sàn đặt máy bơm cũng như các phương án vận hành trạm bơm hợp lý. Vấn đề còn tồn tại mà các tác giả chưa giải quyết đó là chưa xét đến bài toán dao động lệch pha của các máy bơm. Đây là nội dung mà tác giả mong muốn được nghiên cứu sâu hơn nữa trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Xuân Bảo (1983), Nguyễn Văn Lệ, Vũ Thành Hải, Phạm Hồng Giang. Phương pháp phần tử hữu hạn và ứng dụng để tính toán công trình thủy lợi. NXB Nông nghiệp.
- [2]. Dương Văn Thứ. 2010. Giáo trình động lực học công trình. NXB khoa học tự nhiên và công nghệ.
- [3]. Timoshenko, Woinowsky-Krieger. 1974. Tấm và vỏ (bản dịch tiếng Việt). NXB Nông nghiệp.