

XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG KÍNH KINH TẾ CỦA ỐNG ĐẨY TRẠM BƠM

Nguyễn Tuấn Anh¹

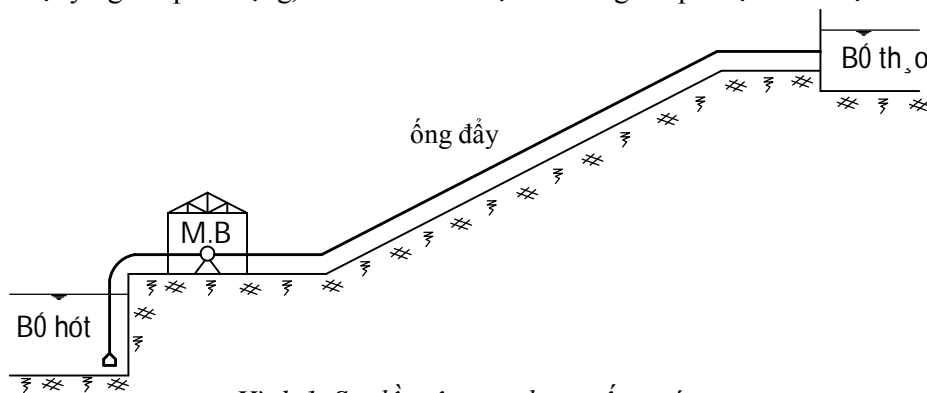
Tóm tắt: Bài báo này giới thiệu một phương pháp xác định đường kính kinh tế của ống đẩy trạm bơm. Phương pháp này được xây dựng dựa trên lý thuyết phân tích hệ thống và tối ưu hóa với hàm mục tiêu là tổng chi phí xây dựng và quản lý quy về năm đầu nhỏ nhất. Nghiên cứu đã xây dựng được một công thức xác định đường kính kinh tế của ống đẩy trạm bơm, nó bao gồm bảy thông số. Qua ứng dụng công thức này cho trường hợp ống thép không gỉ ở khu vực Hà nội, kết quả cho thấy, với cùng một lưu lượng tính toán ống nhưng có sự khác nhau đáng kể về kết quả tính toán đường kính kinh tế giữa các trạm bơm có số giờ làm việc trong năm khác nhau như trạm bơm tưới, tiêu, cấp nước sinh hoạt.

Từ khóa: Đường kính kinh tế, ống đẩy, trạm bơm.

1. MỞ ĐẦU

Trong công tác thiết kế đường ống dẫn nước nói chung và đường ống đẩy của trạm bơm cấp, thoát nước nói riêng, việc xác định đường kính ống hợp lý có một ý nghĩa quan trọng, nhất là đối

với các trạm bơm có đường ống đẩy dài như các trạm bơm tưới vùng miền núi, trạm bơm cấp nước sinh hoạt. Nếu chọn đường kính ống đẩy không hợp lý sẽ dẫn đến hoặc làm tăng chi phí xây dựng hoặc làm tăng chi phí vận hành trạm bơm.



Hình 1. Sơ đồ một trạm bơm cấp nước

Như chúng ta đã biết, trong bài toán thiết kế đường ống, với một lưu lượng (Q) cho trước, đường kính ống (D) phụ thuộc vào vận tốc nước chảy trong ống (v) được chọn. Theo điều kiện kỹ thuật, v có thể được chọn trong một phạm vi rộng, cụ thể như, để đảm bảo độ bền của ống, v phải nhỏ hơn $2.5 \div 3.0$ m/s. Vì vậy vận tốc thiết kế ống cần được xác định theo điều kiện kinh tế. Nếu chọn v lớn thì D nhỏ, dẫn đến chi phí xây dựng đường ống giảm, nhưng sẽ kéo theo tổn thất thủy lực lớn, làm tăng cột nước bơm dẫn đến làm tăng chi phí điện năng. Ngược lại, nếu chọn v nhỏ thì chi phí xây dựng đường ống tăng nhưng chi phí điện năng giảm. Do đó cần chọn v

hay D sao cho tối ưu về kinh tế. Hiện nay trong thực hành tính toán thiết kế đường ống cấp nước, người ta vẫn thường tham khảo các giá trị đường kính kinh tế hay vận tốc kinh tế của nước ngoài như được đề cập trong các tài liệu [2], [3], [4],... Ví dụ, theo tài liệu [2], vận tốc kinh tế cho ống đẩy được đề nghị chọn từ 1.5 m/s đến 2.5 m/s, còn theo tài liệu [5], đường kính kinh tế của một đoạn ống độc lập có thể xác định theo công thức của Mosnin: $D_{kt} = \varepsilon \cdot Q^{3x}$, trong đó Q là lưu lượng tính toán của đoạn ống (m^3/s); ε là nhân tố kinh tế, $\varepsilon = 0.15 \div 2.0$; x là chỉ số mũ, có thể lấy bằng 0.14. Rõ ràng theo các tài liệu này, giá trị của v hay D được xác định trong một khoảng rộng nên người thiết kế sẽ khó khăn để lựa chọn được giá trị phù hợp nhất. Hơn nữa,

¹ Khoa Kỹ thuật Tài nguyên nước, Đại học Thủy lợi

việc áp dụng các giá trị v hay D này vào Việt Nam có thể cho kết quả chưa hợp lý vì vận tốc hay đường kính kinh tế phụ thuộc vào các điều kiện cụ thể của địa phương như giá điện, đơn giá đường ống, thời gian hoạt động, lãi suất, v.v...

Nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc tính toán chọn đường kính ống, bài báo này giới thiệu một công thức xác định đường kính kinh tế của ống đẩy trạm bơm, được xây dựng dựa trên lý thuyết phân tích hệ thống và phương pháp hồi quy thực nghiệm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu được đề xuất trong bài toán này là tổng chi phí đầu tư xây dựng và quản lý quy về năm đầu nhỏ nhất, tức là:

$$C_{i\text{ống}} = C_{XD} + C_{QL} \rightarrow \text{Min} \quad (1)$$

Trong đó:

C_{XD} : Chi phí đầu tư xây dựng công trình tương ứng với phương án đường kính ống đẩy D . Ngoài hạng mục đường ống đẩy, các hạng mục còn lại của trạm bơm là không thay đổi theo các phương án, do đó ở đây chỉ tính C_{XD} là chi phí đầu tư xây dựng đường ống đẩy. Chi phí này được xác định qua tính dự toán dựa trên đơn giá đường ống và chiều dài đường ống.

C_{QL} : Tổng chi phí quản lý quy về năm đầu tương ứng với phương án đường kính ống đẩy D .

$$C_{QL} = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{C_{bq}}{(1+i)^t} \quad (2)$$

i : Lãi suất tính toán;

n : Thời gian hoạt động của dự án (năm).

C_{bq} : Chi phí quản lý trạm bơm bình quân hàng năm tương ứng với phương án đường kính ống đẩy D . Chi phí này bao gồm: chi phí điện, chi phí bảo dưỡng, sửa chữa trạm bơm, chi phí lương công nhân và chi phí khác. Ngoài chi phí điện, các chi phí khác được coi như không đổi theo các phương án đường kính ống đẩy, vì vậy trong hàm mục tiêu chỉ xét đến thành phần chi phí điện năng.

Do đó, hàm mục tiêu có thể viết thành:

$$C_{i\text{ống}}^* = C_{XD.i\text{ống}} + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{C_{dien}}{(1+i)^t} \rightarrow \text{Min} \quad (3)$$

Trong đó:

$C_{XD.i\text{ống}}$: Chi phí xây dựng đường ống đẩy (đ);

C_{dien} : Chi phí điện năng tính bình quân hàng năm (đ/năm).

$$C_{i\text{ống}}^* = C_{XD.i\text{ống}} + C_{dien} \sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{(1+i)^t} \rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

$$\text{Đặt } \beta = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{(1+i)^t}$$

Suy ra

$$C_{i\text{ống}}^* = C_{XD.i\text{ống}} + C_{dien} \cdot \beta \rightarrow \text{Min} \quad (5)$$

- **Xây dựng quan hệ $C_{XD.i\text{ống}} \sim D$**

$$C_{XD.i\text{ống}} = C_1 \cdot L \quad (\text{đ}) \quad (6)$$

Trong đó: L là chiều dài đường ống đẩy (m); C_1 là chi phí xây dựng (bao gồm chi phí vật liệu, nhân công và máy thi công) của một mét dài đường ống (đ/m), C_1 phụ thuộc vào đường kính ống, loại vật liệu ống, hãng sản xuất và khu vực xây dựng công trình. Dựa trên đơn giá xây dựng đường ống và sử dụng công cụ phân tích hồi quy thực nghiệm của phần mềm Excel, có thể xây dựng được quan hệ giữa C_1 và đường kính D dưới dạng hàm lũy thừa như sau:

$$C_1 = C_0 \cdot D^\alpha \quad (7)$$

Trong đó, C_0 và α là các tham số phụ thuộc vào vật liệu ống, khu vực xây dựng công trình.

Thay vào (6), có được:

$$C_{XD.i\text{ống}} = C_0 \cdot D^\alpha \cdot L \quad (\text{đ}) \quad (8)$$

- **Xây dựng quan hệ $C_{dien} \sim D$**

Công thức tính chi phí điện năng cho bơm nước như sau:

$$C_{dien} = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{tr}} \cdot T \cdot a \quad (\text{đ}) \quad (9)$$

Trong đó: Q là lưu lượng bơm bình quân chảy qua một ống đẩy (m^3/s). Nếu mỗi máy bơm có một ống đẩy thì Q bằng lưu lượng một máy bơm, nếu ghép chung ống đẩy thì Q bằng lưu lượng của trạm bơm chia cho số ống đẩy chung.

H là cột nước bơm (m), được tính như sau:

$$H = h_{\text{đh}} + h_{\text{msoh}} + h_{\text{msod}} \quad (10)$$

Trong đó: $h_{\text{đh}}$ là cột nước địa hình bình quân; h_{msoh} là tổn thất cột nước trong đường ống hút và h_{msod} là tổn thất cột nước trong đường ống đẩy.

$$\eta_{tr} = \eta_b \cdot \eta_{\text{đ}} \cdot \eta_{\text{đc}} \cdot \eta_m \quad (11)$$

trong đó: $\eta_b, \eta_{td}, \eta_{dc}, \eta_m$ lần lượt là hiệu suất máy bơm, truyền động, động cơ và mạng lưới điện.

T là tổng thời gian làm việc của ống đẩy (hay trạm bơm) trong năm (giờ).

a là giá điện (đ/kwh)

$$\Rightarrow C_{dien} = \frac{9.81.Q.T.a}{\eta_r} (h_{dh} + h_{msod}) + \frac{9.81.Q.T.a}{\eta_r} h_{msod} \quad (12)$$

h_{msod} được xác định theo công thức sau:

$$h_{msod} = S.Q^2 \quad (13)$$

Trong đó S là sức cản của đường ống. Trong trường hợp ống đẩy dài, tổn thất cục bộ thường là rất nhỏ so với tổn thất dọc đường, vì vậy S có thể được xác định theo công thức sau:

$$S = S_o . L \quad (14)$$

Trong đó L là chiều dài ống đẩy (m); S_o là sức cản đơn vị phụ thuộc vào đường kính ống, vật liệu ống và chế độ chảy trong ống. Theo [5], đối với ống gang và thép cũ, khi ống làm việc trong khu vực bình phương sức cản, S_o được xác định theo công thức sau:

$$S_o = \frac{0.001736}{D^{5.3}} \quad (15)$$

Thay vào phương trình [5], sẽ có được hàm mục tiêu là hàm số của biến đường kính D như sau:

$$C^*_{tong} = C_o . D^\alpha . L + \beta \left[\frac{9.81.Q.T.a}{\eta_b} (h_{dh} + h_{msod}) + \frac{0.01703.Q^3.T.a.L}{\eta_b . D^{5.3}} \right] \quad (16)$$

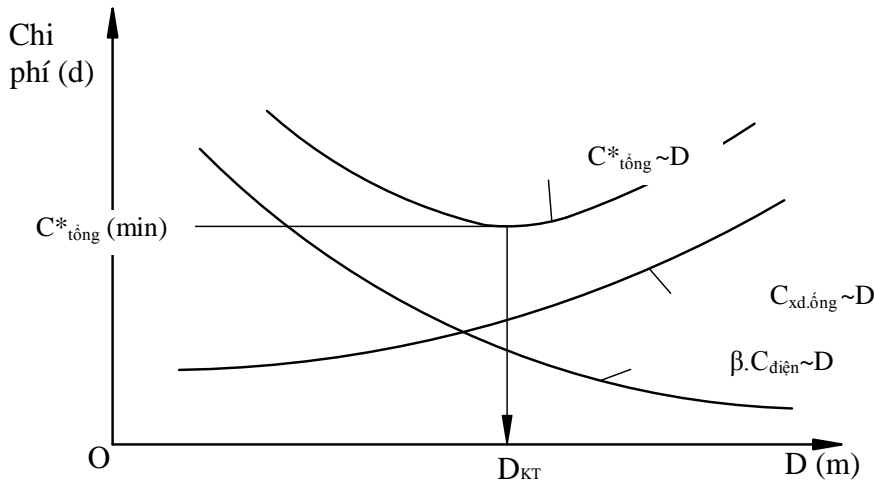
2.2. Xác định đường kính kinh tế

Các đường quan hệ giữa chi phí xây dựng, chi phí điện năng và tổng chi phí (hàm mục tiêu) với đường kính ống D được mô tả trong hình 2. Hàm mục tiêu có một giá trị cực tiểu tương ứng với giá trị đường kính kinh tế (D_{kt}). Vì vậy, để xác định đường kính kinh tế cần giải phương trình sau với ẩn số D :

$$\frac{dC^*_{tong}}{dD} = 0 \quad (17)$$

\Leftrightarrow

$$C_o . \alpha . D^{\alpha-1} . L - \frac{0.09026.Q^3.T.a.L.\beta}{\eta_b} . D^{-6.3} = 0 \quad (18)$$



Hình 2. Quan hệ giữa chi phí và đường kính ống

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Giải phương trình (18) có được công thức xác định D_{kt} như sau:

$$D_{kt} = \left(\frac{0.09026.T.a.\beta}{\eta_r.C_o.\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha+5.3}} . Q^{\frac{3}{\alpha+5.3}} \quad (19)$$

Công thức (19) cho thấy, D_{kt} phụ thuộc vào các tham số: số giờ làm việc của ống đẩy trong năm; giá điện; hệ số kể đến lãi suất tính toán và thời gian

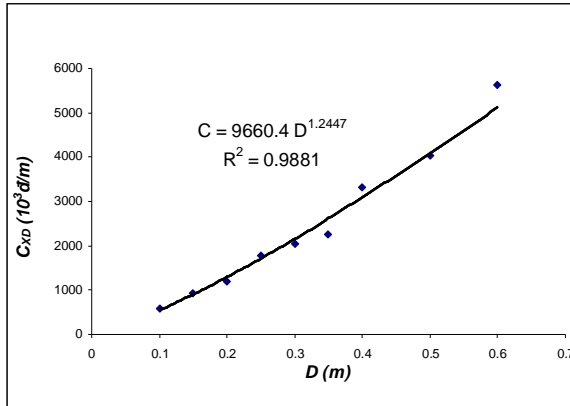
hoạt động của dự án; hiệu suất trạm bơm; lưu lượng của ống và hai tham số của đường quan hệ chi phí xây dựng và đường kính ống, trong đó lưu lượng là tham số ảnh hưởng lớn nhất.

Kiểm nghiệm và ứng dụng

Để kiểm nghiệm và đánh giá khả năng ứng dụng của công thức trên, tác giả đã áp dụng công thức trên để tính D_{kt} và vận tốc kinh tế cho loại ống thép không gỉ ở khu vực Hà Nội.

Số liệu:

- Dựa trên đơn giá ống thép không gỉ năm 2011 của TP Hà Nội, tác giả đã xây dựng được quan hệ giữa chi phí xây dựng một mét dài đường ống với đường kính ống như trong hình vẽ 3. Từ đó xác định được $C_o = 9\ 660.4 \times 10^3 \text{ đ}$; $\alpha = 1.2447$.



Hình 3. Quan hệ giữa chi phí xây dựng và đường kính ống đối với ống thép không gỉ, khu vực Hà Nội

- Chọn lãi suất tính toán $i = 12\%$, thời gian hoạt động của dự án là $n = 30$ năm, tính được $\beta = 8.06$.

- Giá điện lấy bằng giá trong giờ trung bình, $a = 1300 \text{ đ/kwh}$.

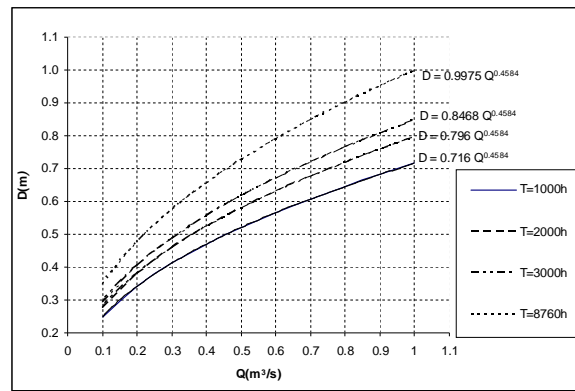
- Hiệu suất bình quân của trạm bơm (η_{tb}) sơ bộ chọn bằng 0.7.

- Thời gian làm việc của ống đẩy trong năm giả thiết ở bốn mức: $T = 1000\text{h}$; 2000h ; 3000h và 8760h . Trong đó $T=1000$ h được xem như thời gian làm việc bình quân của các trạm bơm tiêu; $T = 2000\text{h}$ đến 3000h là thời gian làm việc bình quân của các trạm bơm tưới và $T=8760\text{h}$ (365 ngày) là thời gian làm việc của trạm bơm cấp nước sinh hoạt.

- Lưu lượng của ống đẩy được chọn từ 0.1 đến $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kết quả:

Áp dụng công thức (19) có được các giá trị D_{kt} tương ứng với các giá trị lưu lượng Q và thời gian T như được biểu diễn trong đồ thị hình 4 bởi các phương trình tương ứng.



Hình 4. Quan hệ giữa đường kính kinh tế và lưu lượng ống

Hình 4 cho thấy, có sự khác nhau đáng kể trong kết quả tính toán đường kính kinh tế giữa các trường hợp xem xét trên; cùng một lưu lượng tính toán nhưng đối với các trạm bơm có thời gian làm việc nhiều hơn thì cần chọn đường kính lớn hơn.

Cũng từ các quan hệ này, tác giả đã xác định được phạm vi của vận tốc kinh tế (V_{kt}) tương ứng các trường hợp trên như sau:

- $T=1000\text{h}$, $V_{kt} = 2.0 \div 2.5 \text{ m/s}$;
- $T=2000\text{h}$, $V_{kt} = 1.7 \div 2.0 \text{ m/s}$;
- $T=3000\text{h}$, $V_{kt} = 1.5 \div 1.7 \text{ m/s}$;
- $T=8760\text{h}$, $V_{kt} = 1.2 \div 1.3 \text{ m/s}$.

Rõ ràng là khi số giờ làm việc của trạm bơm trong năm lớn hơn thì cần chọn vận tốc nhỏ hơn. Các kết quả này là khá phù hợp với phạm vi vận tốc kinh tế được đề nghị trong [2], đó là $V_{kt} = 1.5$ đến 2.5 m/s , tuy nhiên kết quả này chi tiết hơn và nó được chọn tùy thuộc vào thời gian làm việc của trạm bơm trong năm.

Trong thực tế, ống cấp nước được sản xuất theo những đường kính quy chuẩn nhất định. Vì vậy, khi chọn đường kính kinh tế, phải lấy tròn theo đường kính ống quy chuẩn gần nhất với giá trị tính theo công thức (19).

4. KẾT LUẬN

Tính toán xác định đường kính của ống đẩy sao cho đảm bảo điều kiện về kinh tế và kỹ thuật là công việc cần thiết khi thiết kế các trạm bơm cấp nước, đặc biệt là đối với các trạm có đường ống đẩy dài. Nhằm chính xác hóa việc tính toán xác định đường kính kinh tế của ống

đây, nghiên cứu này đã xây dựng được một công thức xác định đường kính kinh tế của ống đẩy trạm bơm, nó bao gồm bảy thông số. Qua ứng dụng công thức này cho trường hợp ống thép không gỉ ở khu vực Hà Nội, kết quả cho thấy, với cùng một lưu lượng nhưng có sự khác nhau đáng kể về kết quả tính toán đường kính kinh tế giữa các trạm bơm có số giờ làm việc trong năm khác nhau như trạm bơm tưới, tiêu, cấp nước sinh hoạt. Kết quả cũng cho thấy, trong trường hợp thiết kế sơ bộ có thể sử dụng

$V_{kt} = 1.2$ đến 2.5 m/s để tính toán đường kính ống còn trong trường hợp cần tính toán chính xác thì nên sử dụng công thức (19) để xác định đường kính ống đẩy. Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả mới chỉ xác định được các thông số của quan hệ đơn giá và đường kính ống của một loại ống ở khu vực Hà Nội, vì vậy cần có các nghiên cứu tiếp theo để xác định các thông số này cho nhiều loại ống và nhiều khu vực khác nhau nhằm đơn giản hóa việc tính toán đường kính kinh tế ống đẩy trạm bơm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Chí Nguyễn, 2008, *Một số vấn đề cơ sở nghiên cứu hệ thống tưới tiêu bằng động lực*, NXB nông nghiệp.
2. Nguyễn Ngọc Bích, Hoàng Lâm Viện, Nguyễn Văn Tích, 2006, *Giáo trình Máy bơm và Trạm bơm*, NXB từ điển Bách Khoa.
3. Trịnh Xuân Lai, 2009, *Tính toán mạng lưới phân phối nước và phân tích nước va*, NXB xây dựng.
4. Nguyễn Thị Hồng, 2001, *Hướng dẫn thiết kế đồ án môn học Mạng lưới cấp nước*, NXB Xây dựng.
5. Nguyễn Văn Tín, 2001, *Cấp nước tập 1- Mạng lưới cấp nước*, NXB khoa học và kỹ thuật.
6. Garland E. Laliberte and Marshall J. English, M.ASCE (1983) *Design of Energy-Efficient Pipe-Size Expansion*, [Journal of Irrigation and Drainage Engineering](#), Vol. 109, No. 1, March 1983, pp. 13-28.
7. Ronald E. Featherstone and Karim K. El-Jumaily (1983), Optimal Diameter Selection for Pipe Networks. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 109, No. 2, February 1983, pp. 221-234.

Abstract:

DETERMINING OPTIMAL DIAMETER FOR DISCHARGE PIPE OF PUMPING STATION

This paper presents a method of determining optimal diameter for discharge pipe of pumping station which is based on the theory of systems analysis and optimization. In the method, the objective function is the lowest total cost, $C_{tot} \rightarrow Min$. A seven parameters formula to determine optimal diameter of discharge pipe was established. The formula was applied for a series of cases of stainless steel pipe in Ha noi region to validate its application. By analysing the effect of the operation duration parameter on the results, it showed that, with the same flow, optimal diameter of discharge pipe depends considerably on the pipe operation duration.

Key words: *Optimal diameter, discharge pipe, pumping station.*

Người phản biện: **GS. TS. Lê Chí Nguyễn**

BBT nhận bài: 20/6/2012

Phản biện xong: 28/8/2012