

LỰC HƯỚNG TÂM VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC TRONG BƠM LY TÂM VẬN TẢI DÒNG CHẤT LỎNG CÓ HẠT RẮN

RESEARCH ON CENTRIPETAL FORCE IN CENTRIFUGAL PUMPS USED FOR
TRANSPORTING FLUID WITH SOLID

ThS. **Bùi Minh Hoàng**, TS. **Phạm Đức Thiên**, ThS. **Đoàn Kim Bình**

Trường Đại học Mở – Địa chất

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã tổng hợp được cơ sở lý thuyết tính toán lực hướng tâm trong máy bơm ly tâm. Trên cơ sở phương pháp tính toán lực hướng tâm trong máy bơm ly tâm, nghiên cứu đã phân tích và lựa chọn được phương pháp tính toán lực hướng tâm cho máy bơm dòng hai pha rắn – lỏng chịu mài mòn nói chung và cho máy bơm thải xỉ nói riêng.

Kết quả tính toán sử dụng để thiết kế máy bơm thải tro xỉ mô hình. Nghiên cứu cũng đề xuất biện pháp giảm lực hướng tâm trong máy bơm ly tâm nói chung và máy bơm thải xỉ nói riêng.

Từ khóa: *Bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn – lỏng; Bơm thải xỉ; Bơm hai pha.*

ABSTRACT

Research has synthesized the theoretical basis for calculating centripetal force in centrifugal pumps. On the base of the method of calculating centripetal force in centrifugal pumps, research has analyzed and selected the calculation method for centrifugal pumps for transporting solid-liquid mixtures.

Calculation results used to design model centrifugal pumps for transporting coal ash in thermal power factories. The study also proposes measures to reduce centrifugal force in centrifugal pumps in general and coal ash pumps in particular.

Keywords: *Two-phase flow pump; Mixed solid – liquid pump.*

1. GIỚI THIỆU

Trong máy bơm ly tâm nói chung và máy bơm thái xỉ nói riêng, khi làm việc bánh công tác chịu tác dụng của nhiều lực khác nhau. Trong các bơm lớn, các lực này có thể đạt giá trị rất cao. Để cho bơm làm việc ổn định thì các lực tác dụng lên bánh công tác phải được cân bằng, nghĩa là phải có các biện pháp để cân bằng lực đó. Các lực tác dụng lên bánh công tác của máy bơm ly tâm bao gồm: lực khối (trọng lực, lực quán tính) và lực bề mặt do tác dụng của áp suất chất lỏng (lực hướng trục, lực hướng tâm) [1].

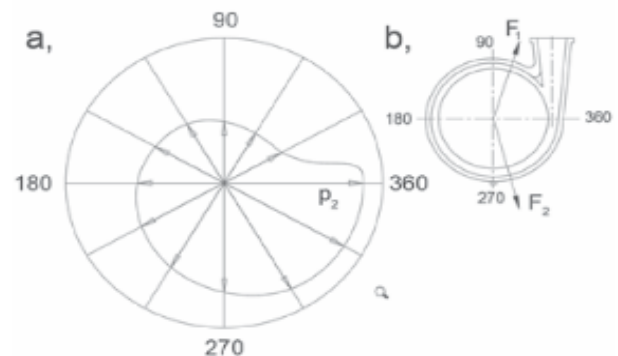
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN LỰC HƯỚNG TÂM TRONG MÁY BƠM THÁI XỈ

2.1. Cơ sở lý thuyết tính toán lực hướng tâm trong máy bơm ly tâm

Lực hướng kính tác dụng lên bánh công tác của bơm ly tâm chỉ xuất hiện ở các chế độ làm việc của bơm khác với chế độ tối ưu, tức là khi không đảm bảo các điều kiện dòng chảy bao ngoài bánh công tác đối xứng qua trục. Khi lưu lượng của máy bơm giảm ($Q < Q_{tr}$), trong máng dẫn xoắn, vận tốc của dòng chất lỏng giảm dần từ tiết diện đầu (mũi xoắn) tới tiết diện cuối (tiếp giáp với ống loe) của nó, còn áp suất thì tăng dần từ tiết diện đầu tới tiết diện cuối của máng dẫn xoắn. Khi lưu lượng của bơm tăng ($Q > Q_{tr}$), trong máng dẫn xoắn, từ tiết diện đầu tới tiết diện cuối của nó, vận tốc và áp suất của dòng chất lỏng sẽ phân bố ngược lại. Trong cả hai trường hợp, dòng chảy bao ngoài bánh công tác phân bố không đối xứng qua trục, vì vậy xuất hiện lực hướng kính (hướng tâm) tác dụng lên bánh công tác của máy bơm.

Hình 1(a) giới thiệu biểu đồ phân bố áp suất điển hình trong tọa độ cực theo vòng

tròn của bánh công tác tính bằng phần trăm so với cột áp toàn phần. Biểu đồ trên được xây dựng đối với bơm ly tâm có máng dẫn xoắn bao ngoài bánh xe công tác, làm việc với lưu lượng bằng 19% lưu lượng trong chế độ làm việc tối ưu, áp suất tăng dần từ tiết diện đầu tới tiết diện cuối của máng dẫn xoắn.



Hình 1. Biểu đồ phân bố áp suất trong tọa độ cực của dòng chảy trong máng dẫn xoắn của bơm ly tâm [1]

Sự phân bố áp suất không đối xứng theo vòng tròn của bánh xe công tác làm xuất hiện lực hướng kính (F_1) tác dụng lên bánh công tác hướng về phía các tiết diện nhỏ của máng dẫn xoắn (hình 1, b).

Khi bơm làm việc quá tải, quy luật phân bố áp suất theo vòng tròn của bánh công tác có đặc tính ngược lại và lực hướng kính (F_2) tác dụng hướng về phía các tiết diện lớn của máng dẫn xoắn (hình 1, b).

Các công trình thực nghiệm cho thấy rằng: lực hướng kính của dòng chất lỏng tác dụng lên bánh công tác của bơm tỷ lệ thuận với cột áp H , với chiều rộng b'_2 (kể cả chiều dày đĩa) và đường kính D_2 của bánh công tác [2].

Trong các bơm cao áp và các bơm có kích thước lớn, lực hướng kính (F_R) có ảnh hưởng đáng kể tới độ võng của trục, gây nên độ

lệch tâm của bánh công tác với các vòng đệm trước, làm hư hỏng đệm lót. Đồng thời, lực ma sát tác dụng lên đệm lót của bánh công tác khi nó lệch tâm với các vòng đệm, gây nên chuyển động không ổn định của rotor. Vì vậy, kết cấu của bơm phải đảm bảo cho nó làm việc ổn định ở mọi chế độ với những giá trị lưu lượng khác nhau từ $0 \div Q_{\max}$.

Độ võng của trục dưới tác dụng của lực hướng kính không được vượt quá trị số của các khe đệm. Trong điều kiện đó, trục bơm không những phải đủ độ bền mà còn phải đủ độ cứng.

2.2. Lý thuyết tính toán lực hướng tâm trong máy bơm thải xỉ

Lực hướng tâm phát sinh do phân bố không đồng đều của áp lực chất lỏng trên lối ra của bánh công tác. Sự thay đổi áp lực dọc dòng chảy trong bánh công tác được xác định theo công thức [1]:

$$p_2 - p_1 = \rho \cdot \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \rho \cdot \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \quad (1)$$

Vì áp suất p_1 và vận tốc tương đối w_1 của dòng chảy ở lối vào bánh công tác phân bố đồng đều, tổng $\rho \cdot \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \rho \cdot \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + p_1$ (ký hiệu tổng là p) là đại lượng không đổi, không thay đổi theo chu vi bánh công tác. Sự phân bố áp suất ở lối ra bánh công tác tương ứng với biểu thức ở trên được xác định bằng đẳng thức:

$$p_2 = p - \rho \cdot \frac{w_2^2}{2} \quad (2)$$

Do đó, sự phân bố áp suất theo đường tròn trên lối ra khỏi bánh công tác phụ thuộc vào sự thay đổi cục bộ vận tốc tương đối w_2 .

Để xác định lực hướng tâm không cân bằng tác dụng lên lối ra bánh công tác phụ

thuộc vào sự thay đổi cục bộ vận tốc tương đối w_2 , cần xác định tích phân:

$$\int_0^{2\pi} p_2 \cdot b'_2 \cdot R_2 d\varphi \quad (3)$$

Trong đó: b'_2 là chiều rộng của bánh công tác làm việc trên lối ra có tính đến chiều dày; $d\varphi$ là phần tử góc.

Nếu chọn trục tọa độ x và y đi qua tâm bánh công tác, thì lực hướng tâm không cân bằng theo các thành phần sẽ là:

$$R_x = -\gamma \cdot b'_2 \cdot R_2 \int_0^{2\pi} \frac{w_2^2}{2g} \cos\varphi d\varphi \quad (4)$$

$$R_y = -\gamma \cdot b'_2 \cdot R_2 \int_0^{2\pi} \frac{w_2^2}{2g} \sin\varphi d\varphi \quad (5)$$

Trong đó: $\int_0^{2\pi} p \cos\varphi d\varphi$ và $\int_0^{2\pi} p \sin\varphi d\varphi$ bằng không.

Thông thường, sự phân bố vận tốc, áp lực bơm theo chu vi của bánh công tác không xác định được, do đó, biểu thức (4) và (5) không thể xác định được. Tuy nhiên, biểu thức này có thể biến đổi về dạng có thể sử dụng để tính toán lực hướng tâm.

Xét các chế độ làm việc của hai máy bơm đồng dạng, tương tự nhau về mặt hình học. Vận tốc tại các điểm tương ứng ở lối ra khỏi bánh công tác của các máy bơm bằng tích của số vòng quay với đường kính bánh công tác, còn áp lực vận tốc là áp lực bơm của máy bơm. Do đó, lực hướng tâm tác dụng trong các máy bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn – lỏng tương tự của máy bơm ly tâm nước thông thường. Do đó, lực hướng tâm tác dụng trong các máy bơm tương tự nhau, làm việc trong cùng một chế độ làm việc, tỷ lệ tương ứng với biểu thức (4) và (5) theo tích số $b'_2 \cdot R_2 \cdot H$.

Như vậy, công thức tính toán để xác định lực hướng tâm tác dụng lên bánh công tác có dạng:

$$R = K_0 \cdot b'_2 \cdot R_2 \cdot H \cdot \gamma \quad (6)$$

Trong đó: K_0 là hệ số phụ thuộc chế độ làm việc và cấu tạo máy bơm.

Lực hướng tâm R trong các máy bơm thải tro xỉ có thể xác định theo công thức sau [2]:

$$R = K_R \left[1 - \left(\frac{Q_{\min}}{Q} \right)^2 \right] \cdot b'_2 \cdot D_2 \cdot H \cdot \gamma \quad (7)$$

Trong đó: $K_R = (0,3 \div 0,4)$ là hệ số lực xuyên tâm, nhận trên cơ sở thực nghiệm; $Q_{\min}$ là lưu lượng máy bơm tương ứng với giá trị lực hướng tâm tối thiểu.

Chế độ làm việc tương ứng với giá trị tối thiểu của lực hướng tâm ($R_{\min}$) trong trường hợp chúng không trùng với chế độ làm việc tối ưu, nếu sự không trùng lặp này càng lớn, tốc độ bơm càng nhỏ.

Đối với máy bơm thải xỉ, tất cả các chế độ làm việc của máy bơm đều có sự phân bố vận tốc và áp suất không đồng đều theo chu vi bánh công tác.

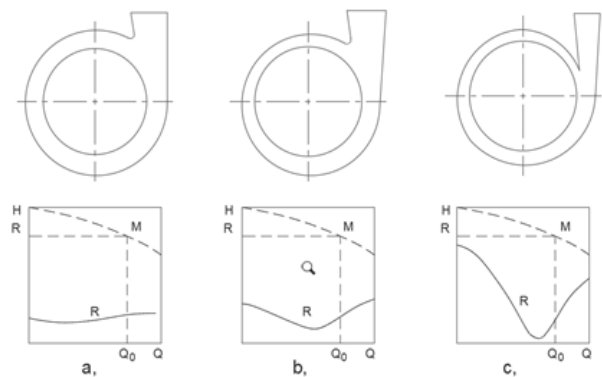
Buồng xoắn của máy bơm thải tro xỉ được đặc trưng bằng tỷ số diện tích tiết diện lưỡi F_L trên diện tích thiết kế của buồng xoắn $F_{p.c}$. Đối với buồng dẫn dạng buồng xoắn $\frac{F_L}{F_{p.c}} \rightarrow 0$, đối với buồng dẫn dạng tròn $\frac{F_L}{F_{p.c}} \rightarrow 1$, với máy bơm thải tro xỉ, tỷ số $\frac{F_L}{F_{p.c}} = (0,5 \div 1)$.

Đối với buồng xoắn, tiết diện thiết kế

phân cách với tiết diện đầu tiên của lưỡi dẫn, vì vậy ở chế độ làm việc đặc trưng do sự phân bố không đồng đều của áp suất không xảy ra sự cân bằng áp suất theo chu vi bánh xe công tác ở lõi ra. Do đó đã xuất hiện lực hướng tâm đáng kể trong những chế độ làm việc khác hoàn toàn những chế độ đặc trưng bằng sự phân bố đồng đều áp suất trên lõi ra của bánh xe công tác. Giá trị cực đại của lực hướng tâm tương ứng với chế độ không tải hay chế độ làm việc quá tải. Giá trị nhỏ nhất của lực hướng tâm gần tới không.

Sự thay đổi lực hướng tâm trong máy bơm thải tro xỉ phụ thuộc vào lưu lượng máy bơm (hình 1.2a). Đối với buồng dẫn gần như là vòng tròn, vùng tiết diện ban đầu và tiết diện thiết kế nối với nhau (vì diện tích tiết diện lưỡi và thiết kế là tương đồng), tạo điều kiện thuận lợi để cân bằng áp suất. Vì vậy, ảnh hưởng của chế độ làm việc máy bơm lên sự phân bố đồng đều áp suất và đại lượng lực hướng tâm giảm đi cùng với sự tăng tỷ lệ $\frac{F_L}{F_{p.c}}$. Ở đây, lưu lượng

tương ứng với giá trị cực tiểu của lực hướng tâm sẽ nhỏ đi. Lực hướng tâm tăng khi tăng lưu lượng. Ở tất cả các chế độ làm việc, giá trị tuyệt đối của lực hướng tâm của buồng dẫn tròn nhỏ hơn nhiều so với giá trị lực hướng tâm trong buồng dẫn kiểu xoắn (hình 1.2b và c).



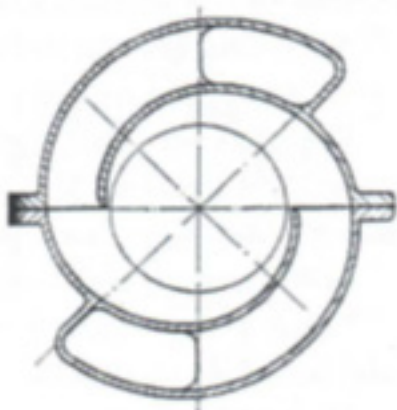
Hình 2. Sự thay đổi lực hướng tâm theo cấu tạo khác nhau của buồng xoắn

3. BIỆN PHÁP GIẢM LỰC HƯỚNG TÂM TRONG MÁY BƠM THẢI XỈ

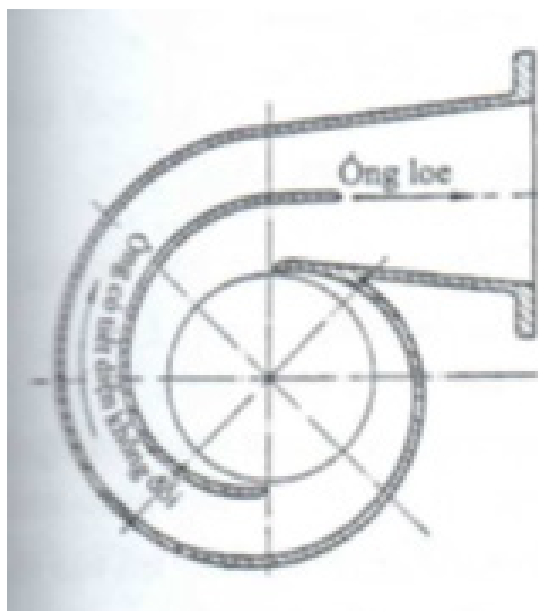
Những nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm [2], [3], [4] về dòng hai pha trong máy bơm ly tâm đã cho thấy quỹ đạo chuyển động của hạt rắn và của chất lỏng mang hạt là không trùng nhau. Quỹ đạo của các phần tử chất lỏng ở chế độ làm việc ổn định của bơm thường phù hợp với biên dạng cánh dẫn được thiết kế, còn quỹ đạo chuyển động của các hạt rắn thì lệch khỏi quỹ đạo của dòng chất lỏng. Độ lệch này của quỹ đạo phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như nồng độ hạt, đường kính hạt, khối lượng riêng của hạt, vị trí của hạt khi bắt đầu vào cánh dẫn và sẽ thay đổi ở từng vị trí dọc theo máng cánh dẫn bánh công tác và máng xoắn ốc.

3.1. Giải pháp giảm lực hướng tâm trong bơm ly tâm

Trong nhiều trường hợp, khi truyền lực hướng kính lên ổ đỡ của trục phải kèm theo việc tăng tương ứng độ cứng của trục. Giải pháp này về mặt kỹ thuật không hợp lý, vì vậy người ta sử dụng các biện pháp thủy lực cân bằng lực hướng kính.



Hình 3. Sơ đồ cân bằng lực hướng kính bằng hai máng dẫn xoắn bao bánh công tác



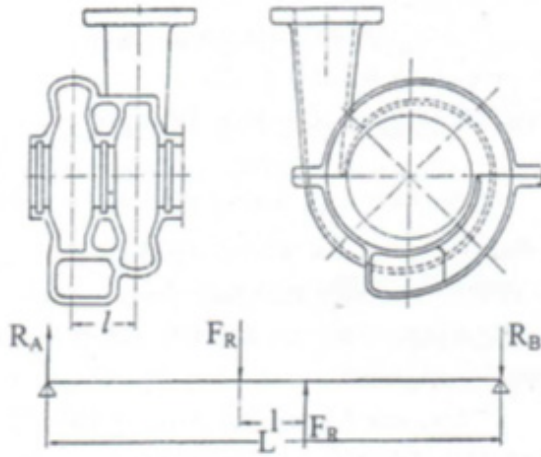
Hình 4. Buồng dẫn ra xoắn có hai máng dẫn

Các biện pháp thủy lực cân bằng lực hướng kính thông dụng là tăng số máng dẫn dòng ra khỏi bánh xe công tác. Khi số máng dẫn dòng là hai (hình 3) thì mỗi một máng dẫn dòng bao bánh công tác một góc 180° . Lực hướng kính xuất hiện về hai phía của bánh công tác trên mỗi cung (180°) có giá trị bằng nhau và hướng ngược chiều nhau, do đó chúng đối xứng và triệt tiêu lẫn nhau.

Tương tự như vậy, khi số máng dẫn dòng ra lớn hơn hai sẽ tạo nên một hệ lực trung tâm có giá trị bằng nhau và có hợp lực bằng không. Trong trường hợp sử dụng buồng dẫn ra kiểu cánh, số máng dẫn luôn luôn lớn hơn hai và lực hướng kính tác dụng lên bánh công tác cân bằng.

Trong các bơm có buồng dẫn ra xoắn, để cân bằng lực hướng kính, người ta chia buồng xoắn ra làm hai máng dẫn xoắn bằng vách ngăn (hình 4). Các máng dẫn xoắn có kết cấu giống nhau và mỗi máng dẫn bao bánh xe công tác một góc bằng 180° .

Máng dẫn xoắn đầu được chuyển tiếp tới máng dẫn có tiết diện không đổi. Hai máng dẫn nối với nhau trong ống đíp-phu-zơ (ống loe). Trong các bơm nhiều cấp, cân bằng lực hướng kính (F_R) có thể thực hiện được bằng cách quay các buồng dẫn ra xoắn một góc 180° đối với nhau (hình 5).



Hình 5. Cân bằng lực hướng kính bằng cách quay buồng dẫn ra xoắn 180°

Lực hướng kính tác dụng lên bánh xe công tác trong các máy bơm như vậy có giá trị bằng nhau và hướng ngược chiều nhau. Các lực này tạo thành ngẫu lực gây nên tải trọng phụ tác dụng lên ổ trục của bơm, còn hợp lực của chúng bằng không.

3.2. Giải pháp giảm lực hướng tâm trong bơm ly tâm vận tải tro xỉ

Đối với máy bơm thải tro xỉ là dạng máy bơm dòng hai pha rắn – lỏng chịu mài mòn, để giảm lực hướng tâm, nên thiết kế buồng dẫn có hình dạng tròn hoặc gần tròn.

Đối với buồng dẫn có dạng tròn, có khả năng chịu mài mòn tốt, làm tăng tuổi thọ của buồng dẫn, giảm được lực hướng tâm. Tuy nhiên, về mặt thủy lực, tổn thất thủy lực trong

buồng dẫn dạng tròn lớn hơn buồng dẫn dạng xoắn.

Khi thiết kế máy bơm thải tro xỉ, cần phải cân nhắc các yếu tố trên một cách hài hòa. Vì vậy, buồng dẫn trong máy bơm thải tro xỉ tốt nhất là thiết kế theo dạng nửa xoắn.

Ngoài ra, điều kiện làm việc của bơm thải xỉ là khắc nghiệt, hay mòn, do vậy ngoài việc tính toán, lựa chọn vật liệu, thì kết cấu bơm xỉ phải đảm bảo bền, cứng vững, chịu được các lực sinh ra do quá trình vận hành bơm.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ nguồn lực để thực hiện nghiên cứu cơ sở này, mã đề tài T24-06.❖

Ngày nhận bài: 15/9/2024

Ngày phản biện: 20/10/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lê Danh Liên; “*Bơm, quạt cánh dẫn*”. NXB. Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2013.
- [2]. Lê Danh Liên, Nguyễn Văn Bày, Đỗ Huy Cương; “*Một số đặc điểm tính toán thiết kế bánh công tác và buồng xoắn bơm ly tâm vận chuyển hỗn hợp nước với hạt rắn kích thước lớn*”. Hội nghị khoa học “Cơ học Thủy khí toàn quốc năm 2003”.
- [3]. Vũ Nam Ngạn; “*Máy và thiết bị thủy khí vận chuyển dòng hỗn hợp rắn – lỏng*”. Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2012.
- [4]. Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. “*Pump Handbook*”. The McGraw-Hill Companies, 2001.