

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHẦN TRĂM PHA ĐẾN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC BƠM LY TÂM

*ThS. Nguyễn Chí Công, ThS. Nguyễn Mạnh Nền – Đại học Hàng Hải Việt Nam*

**Tóm tắt:** Bơm hai pha rắn - lỏng được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp hoá chất, xây dựng, khai thác dầu khí, tuy nhiên phương pháp tính toán thiết kế loại bơm này còn nhiều điểm chưa được sáng tỏ. Có hai vấn đề chính gặp phải trong khi tính toán thiết kế bơm hai pha và hoạt động của bơm là sự tương tác thủy động lực học của hạt rắn với chất lỏng ảnh hưởng như thế nào đến hiệu suất, cột áp của bơm, ảnh hưởng của phần trăm pha rắn, kích thước hạt rắn đến sự mài mòn bánh công tác, buồng xoắn của bơm. Bài báo này sử dụng phương pháp số nghiên cứu ảnh hưởng của phần trăm pha đến đặc tính cột áp và hiệu suất của bơm.

**Từ khóa:** Bơm hai pha, CFD, dòng nhiều pha.

## 1 Giới thiệu chung

Bơm ly tâm là loại bơm được dùng chủ yếu để vận chuyển các chất lỏng có lẫn hạt rắn như bùn, cát do có chi phí tiết kiệm hơn so với vận chuyển bằng xe tải... Ngày nay, nó được sử dụng rất nhiều để hút, nạo vét bùn tại các ao, hồ, kênh mương, hệ thống xử lý nước thải công nghiệp, sinh hoạt, khai thác mỏ, vận tải tro xỉ trong các nhà máy nhiệt điện. Đặc biệt trong ngành xây dựng, bơm ly tâm được dùng để vận chuyển hỗn hợp cát và nước trong san lấp các mặt bằng có diện tích lớn có thể lên đến hàng trăm ha. Tuy nhiên, trong quá trình khai thác, đặc tính làm việc của bơm luôn thay đổi do sự thay đổi của phần trăm pha rắn, hoặc do kích thước của hạt trong hỗn hợp. Sự thay đổi đặc tính làm việc của bơm trong quá trình khai thác thường là những thay đổi không có lợi, trong một số trường hợp do phần trăm pha rắn ở cửa hút của bơm quá lớn làm cho bơm quá tải hoặc bị tắc đường ống trong quá trình khai thác.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp số nghiên cứu dòng chảy hai pha rắn - lỏng trong bơm ly tâm chuyên dùng vận chuyển cát san lấp mặt bằng. Kết quả tính toán mô phỏng thu được là cơ sở quan trọng phân tích ảnh hưởng của phần trăm pha rắn đến đặc tính làm việc của bơm như cột áp, hiệu suất.

## 2 Cơ sở lý thuyết

Trong bài báo này, phần mềm Ansys Fluent 14.5 được sử dụng để tính toán mô phỏng trường dòng của hỗn hợp hai pha rắn - nước trong bơm ly tâm. Cơ sở toán học của phần mềm là phương trình liên tục, phương trình động lượng và phương trình phân bố pha trong hỗn hợp, được viết như sau [1-3]:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Phương trình mômen:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_{m,j}) + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho_m u_{m,i} u_{m,j} \\ & = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu_{\text{eff}} \left( \frac{\partial u_{m,i}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_{m,j}}{\partial x_i} \right) \\ & + \rho_m g_j + F_j + \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k u_{k,i}^r u_{k,j}^r \end{aligned} \quad (2)$$

Phương trình phân bố pha:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_s, \rho_s, u_{m,i}) = -\frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_s, \rho_s, u_{D,s,i}) \quad (3)$$

Trong đó:  $\rho_m$ ,  $\mu_m$ ,  $u_m$  – lần lượt là khối lượng riêng, độ nhớt, vận tốc trung bình của hỗn hợp, được xác định theo công thức sau:

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k; \mu_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mu_k; u_m = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k u_k}{\rho_m} \quad (4)$$

Véc tơ vận tốc tương đối so với pha liên tục được xác định:

$$u_{Dk} = u_k - u_m = v_{kc} - \frac{1}{\rho_m} \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \rho_i v_{i,c} \quad (5)$$

Ở đây:  $v_k$  – vận tốc trượt của pha so với pha liên tục. Trong Ansys Fluent, vận tốc trượt được tính toán dựa trên giả thiết cân bằng giữa các pha trong các không gian nhỏ. Các thành phần khếch tán của pha rắn trong toàn hỗn hợp được giả thiết là có cùng độ lớn. Như vậy ta có:

$$v_{kc} = \frac{(\rho_m - \rho_k) d_k^2}{18\mu_c f} [g - (u_m \cdot \nabla u_m)] \quad (6)$$

Với:  $f = \begin{cases} 1 + 0,05 Re^{0,687}, & Re < 1.000 \\ 0,018 Re, & Re \geq 1.000 \end{cases}$

Trong bài báo này, môi chất khảo sát là hỗn hợp hai cát và nước, do đó số pha  $n = 2$ . Pha rắn được giả định là hạt cầu đồng nhất và có đặc tính vật lý không thay đổi. Pha lỏng là nước nguyên chất ở điều kiện tiêu chuẩn [4].

### 3 Tính toán mô phỏng số

#### 3.1 Các thông số cơ bản của bơm

Mô hình tính toán là bơm ly tâm với tần số vòng quay đặc trưng thấp  $n_s = 45$  vg/ph; lưu lượng  $Q = 6$  m<sup>3</sup>/h; cột áp  $H = 8$  m; vận tốc góc của bánh công tác  $n = 1.450$  vg/ph. Cánh của bánh công tác có dạng cánh trụ, các thông số cơ bản của bánh công tác được cho trong bảng 1.

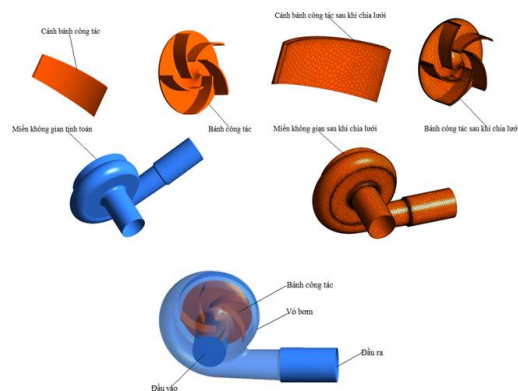
**Bảng 1. Các thông số chính của bánh công tác bơm ly tâm**

TT	Tên	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính ống hút $D_i$	50	mm
2	Đường kính ống đẩy $D_0$	40	mm
3	Chiều rộng máng dẫn tại cửa vào $b_1$	20	mm
4	Chiều rộng máng dẫn tại cửa ra	10	mm
5	Số cánh $Z$	5	

#### 3.2 Xây dựng mô hình, chia lưới và điều kiện biên

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Solidworks để xây dựng mô hình bài

toán: cánh, bánh công tác, buồng xoắn và miền không gian tính toán của bơm khảo sát. Phần không gian khảo sát là khối chất lỏng nằm trong buồng xoắn, được giới hạn bởi đầu vào ống hút và đầu ra của ống đẩy bao gồm phần tĩnh và phần không gian động hình 1. Phần không gian động chứa bánh công tác và chuyển động quay quanh trục của bơm với vận tốc bằng vận tốc quay của bánh công tác. Miền không gian khảo sát được mô hình hóa bằng lưới đa diện với số phần tử lưới là 223.794 [5, 6].



Hình 1. Mô hình bài toán, miền không gian tính toán sau khi chia lưới

Mô hình rối hai phương trình RNG k-ε với thuật toán nội suy mối quan hệ vận tốc và áp suất là PISO được sử dụng để tính toán mô phỏng dòng chảy trong bơm khảo sát. Mô hình MRF được sử dụng để thiết lập hệ tọa độ chuyển động quay với bánh công tác và hệ tọa độ cố định cố định trên vỏ bơm. Đầu vào ‘Inlet’ được đặt là ‘Velocity Inlet’ với giả thiết vận tốc phân bố đồng nhất theo phương dọc trục của ống hút, đầu ra ‘Outlet’ được đặt là ‘Pressure outlet’ với giá trị bằng áp suất khí quyển [7, 8].

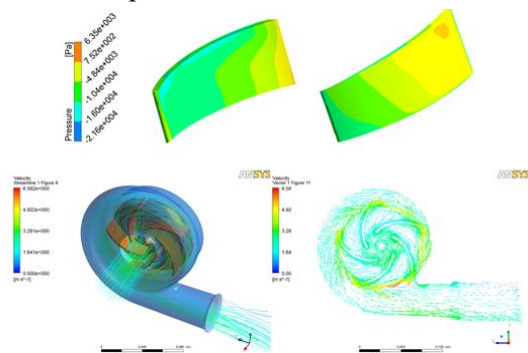
#### 3.3 Các trường hợp tính toán mô phỏng

Để khảo sát ảnh hưởng của phần trăm pha đến đặc tính thủy động lực học của bơm hai pha, nhóm tác giả thực hiện tính toán với các trường hợp phần trăm pha rắn lần lượt là 5%, 7%, 10%, 12%, 15% và 18%, giả thiết đường kính hạt cát 0,10 mm với khối lượng riêng 1.500 kg/m<sup>3</sup>.

## 4 Kết quả và phân tích kết quả

### 4.1 Kết quả tính toán mô phỏng

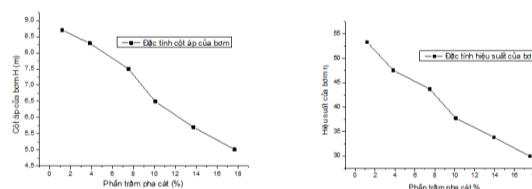
Hình 2 mô tả phân bố áp suất trên mặt hút và mặt đẩy của bánh công tác tại phần trăm pha rắn 5%. Ta thấy quy luật phân bố áp suất trên hai bề mặt cánh tuân theo quy luật của bơm ly tâm. Áp suất mặt đẩy lớn hơn áp suất tại mặt hút. Tại mặt đẩy, áp suất biến thiên tăng dần từ cửa vào của bánh công tác đến cửa ra, khoảng 70% diện tích mặt đẩy có áp suất  $\sim 7,5 \cdot 10^2$  Pa, phần diện tích còn lại  $-4,5 \cdot 10^2$  Pa. Áp suất tại mặt hút cũng tăng dần ta cửa vào cho đến cửa ra của bánh công tác, khoảng 10% diện tích mặt hút của cánh có áp suất  $\sim 7,5 \cdot 10^2$  Pa, 20% diện tích có áp suất  $-4,5 \cdot 10^3$  Pa, phần diện tích còn lại  $-10^{-3}$  Pa.



Hình 2. Một số hình ảnh tính toán mô phỏng

Trên hình 2 cũng mô phỏng đường dòng và phân bố vận tốc ở mặt cắt vuông góc với trục bánh công tác của hỗn hợp nước - cát trong quá trình tương tác với bánh công tác của bơm với phần trăm pha rắn là 5%. Trong mô hình bơm khảo sát, chiều rộng máng dẫn tại cửa vào cánh bánh công tác là 20 mm, chiều rộng máng dẫn tại cửa ra là 10 mm. Do đó, luôn tồn tại một thành phần vận tốc hướng trục trong các máng dẫn của bánh công tác và ảnh hưởng lớn đến vector vận tốc tương đối. Nói cách khác, vector vận tốc tương đối là tổng của vector vận tốc dọc trục và vận quay trong máng dẫn của bánh công tác. Vận tốc của hỗn hợp tăng dần từ đầu vào cho đến đầu ra của máng dẫn. Ở đầu máng dẫn, vận tốc của hỗn hợp  $\sim 1,64$  m/s, phía cuối máng dẫn vận tốc của hỗn hợp tăng lên  $\sim 6$  m/s.

### 4.2 Phân tích kết quả tính toán



Hình 3. Biến thiên hiệu suất và cột áp của bơm theo % pha rắn

Hình 3 mô tả quy luật biến thiên của cột áp, hiệu suất của bơm theo phần trăm pha rắn trong hỗn hợp. Ta thấy rằng, cả hiệu suất và cột áp của bơm đều giảm gần như tuyến tính với độ dốc rất lớn khi phần trăm pha rắn trong hỗn hợp tăng lên. Khi phần trăm pha rắn là 5%, cột áp và hiệu suất đạt giá trị lớn nhất, khi phần trăm pha rắn là 18%, chúng đạt giá trị nhỏ nhất và giảm tuyệt đối lần lượt là 3,73 và 23,5%. Có thể giải thích rằng, khi phần trăm pha rắn tăng, sự va đập giữa các hạt cũng tăng, dẫn đến tổn thất thủy lực tăng lên, làm giảm hiệu suất của bơm. Mỗi bơm hai pha đều có cột áp nhất định nên khi phần trăm pha rắn trong hỗn hợp vượt quá một giá trị giới hạn sẽ xảy ra hiện tượng pha rắn lắng đọng trong đường ống trong quá trình vận chuyển, gây ra hiện tượng tắc đường ống, hiệu suất của bơm trong những trường hợp này rất thấp.

## 5 Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp số tính toán mô phỏng trường dòng chảy của hỗn hợp, dưới đây là một số kết quả chính của bài báo:

- Hiệu suất, cột áp của bơm hai pha giảm khi phần trăm pha rắn tăng lên. Khi phần trăm pha rắn là 5%, hiệu suất và cột áp của bơm đạt giá trị lớn nhất, khi phần trăm pha rắn là 18%, hiệu suất, cột áp của bơm đạt giá trị nhỏ nhất.

- Biến thiên hiệu suất, cột áp của bơm giảm gần như tuyến tính với độ dốc rất lớn khi phần trăm pha rắn tăng lên. Điều này chứng tỏ phần trăm pha rắn có ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính thủy động lực học của bơm hai pha, làm tăng tổn thất thủy lực, làm giảm hiệu suất của bơm.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. ANSYS Fluent Theory Guide. 2013. 814 p.
2. **Peyret R.** Handbook of Computational Fluid Mechanics. *Publisher: Elsevier Science & Technology Books, 1996.*
3. **Malalasekera, H.K.V.a.W.** An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Method. *Longman Scientific Technical, 1995.*
4. **Peng G., et al.** Solid-liquid two-phase Flow and Wear Analysis in a Large-scale Centrifugal Slurry Pump. *Engineering Failure Analysis, 2020.* 114 p. 104602.
5. **Clarkson C.R., et al.** Evaluation of the Impact of Multi-phase Flow on Reservoir Signatures in the Wolfcamp Shale. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2020.* 76 p. 103187.
6. **Hageman T., R. de Borst.** Sub-grid Models for Multiphase Fluid Flow Inside Fractures in Poroelastic Media. *Journal of Computational Physics, 2020.* 414 p. 109481.
7. **Mazumder Q.** Comparison of Characteristic Particle Velocities in Solid-Liquid Multiphase Flow in Elbow. *International Journal of Thermofluids, 2020.* 100032.
8. **Silva C.A., et al.** Multiphase-flow-induced Corrosion and Cavitation-erosion Damages of API 5L X80 and API 5DP Grade S Steels. *Wear, 2020.* PP. 452-453. 203282.