

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SAI PHÂN HỮU HẠN MÔ PHỎNG PHÂN BỐ ÁP SUẤT CỦA MÀNG DẦU BÔI TRƠN TRONG BƠM BÁNH RĂNG ĂN KHỚP TRONG

Nguyễn Văn Kru

Trường Đại học Thủy lợi, email: nguyenvankuu123@thu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Màng dầu bôi trơn rất phổ biến và quan trọng trong lĩnh vực năng lượng chất lỏng và khoa học ma sát. Nó được sử dụng rộng rãi trong tất cả các loại máy quay. Dầu bôi trơn giúp ngăn cách các bề mặt quay để giảm ma sát, hấp thụ rung động, bảo vệ bề mặt và chịu tải chống lại tải trọng bên ngoài. Trong quá trình vận hành, nếu màng dầu bị hỏng, nó sẽ khiến các bề mặt quay tương đối bị hỏng. Việc nghiên cứu sự phân bố áp suất của màng dầu bôi trơn trong bơm bánh răng ăn khớp trong là rất quan trọng giúp cải thiện tuổi thọ cho các chi tiết, trên cơ sở đó cũng là nền tảng cho nghiên cứu động lực học và phân tích ổn định cho bơm bánh răng ăn khớp trong. Trong nghiên cứu này, bài báo áp dụng phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Differences Method - FDM) để tính toán mô phỏng phân bố áp suất của màng dầu bôi trơn khi bơm bánh răng hoạt động ở chế độ hỗn hợp.

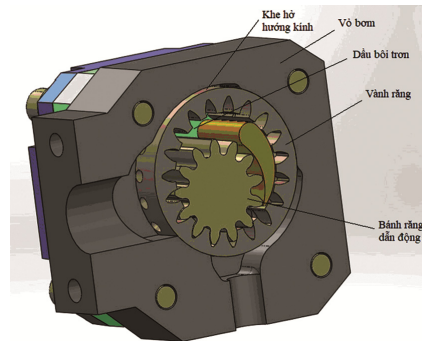
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô phỏng số, FDM, Phương trình Reynolds.

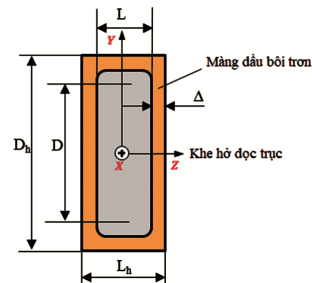
3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Các bộ phận chính của bơm và mô tơ bánh răng ăn khớp trong được thể hiện như trên hình 1, bao gồm một bánh răng nối với trục ăn khớp với một vành răng. Vành răng và thành trong của vỏ bơm được ngăn cách bởi một màng dầu bôi trơn, với bơm bánh răng thì dầu bôi trơn cũng chính là dầu thủy lực công tác. Theo [1], khe hở hướng tâm là khoảng cách giữa vòng

ngoài vành răng đến vòng trong vỏ bánh răng khi vành răng và vỏ được định tâm theo hướng xuyên tâm. Khe hở dọc trục danh nghĩa là khoảng cách theo hướng trục giữa mặt bên của vành răng và mặt trong vỏ trường hợp vành răng và vỏ được định tâm. Khe hở hướng tâm danh nghĩa được trình bày và khe hở dọc trục danh nghĩa được mô tả trong hình 1 và hình 2.



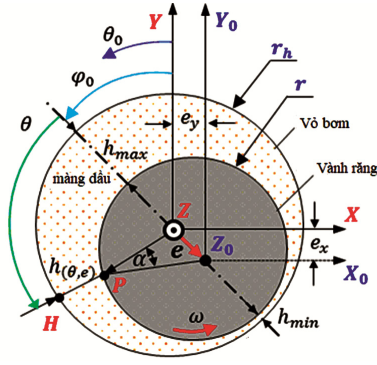
Hình 1. Cấu tạo bơm bánh răng ăn khớp trong



Hình 2. Khe hở dọc trục

Trong quá trình vận hành, độ dày màng dầu phụ thuộc vào độ lệch tâm và góc định vị của tâm vành răng. Dựa trên hình học của bơm

bánh răng ăn khớp trong như hình 3, phương trình màng dầu được hình thành như sau, [3]:



Hình 3. Chiều dày màng dầu bôi trơn

$$h_{(\theta, e)} = c(1 + \varepsilon \cos \theta) \quad (1)$$

trong đó: ε là hệ số lệch tâm - tỷ lệ độ lệch tâm với độ hở xuyên tâm (e/c); θ là góc từ đường tâm (ZZ_0) đến điểm đo (H) cùng với hướng đường tròn; c là khoảng hở hướng kính - sự khác biệt giữa bán kính của vỏ (r_h) và bánh răng (r):

$$c = r_h - r \quad (2)$$

Phương trình Reynolds đối với chất lỏng không nén được, được mô tả như sau, [3]:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta}$$

trong đó: h là độ dày màng dầu [m]; μ là độ nhớt động lực [Pas]; p là áp suất chất lỏng [Pa]; θ, z là tọa độ màng dầu ở chế độ hỗn hợp [m]; ω là vận tốc góc của vành răng [s^{-1}]. Biến đổi phương trình (3) thành phương trình ở dạng không thứ nguyên ta có:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left(\bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} \right) + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} \right) = \frac{1}{H_p} \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{x}} \quad (4)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\theta}{D}; \quad \bar{z} = \frac{z}{L}; \quad \bar{h} = \frac{h}{c}; \quad (5)$$

$$\bar{p} = \frac{p}{p_s}; \quad H_p = \frac{p_s}{12\mu\omega} \left(\frac{c}{r} \right)^2$$

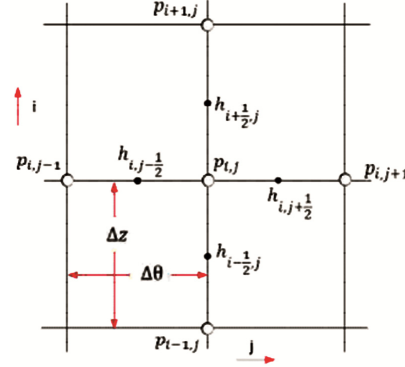
với: L - chiều dài của vành răng [m]; D -đường kính vành răng [m]; H_p -thông số áp suất ở chế độ hỗn hợp của bơm.

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) để xấp xỉ bài toán ta có:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{\theta}} \left(\bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\theta}} \right) = 3\bar{h}_i^2 \frac{d\bar{h}}{d\bar{\theta}}(i) \frac{\bar{p}_{i+1,j} - \bar{p}_{i-1,j}}{2\Delta\bar{\theta}} + \bar{h}_i^3 \frac{\bar{p}_{i+1,j} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i-1,j}}{2\Delta\bar{\theta}^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} \right) = 3\bar{h}_i^2 \frac{d\bar{h}}{d\bar{z}}(i) \frac{\bar{p}_{i+1,j} - \bar{p}_{i-1,j}}{2\Delta\bar{z}} + \bar{h}_i^3 \frac{\bar{p}_{i+1,j} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i-1,j}}{2\Delta\bar{z}^2}$$

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} \frac{\bar{h}_{i+1,j} - \bar{h}_{i-1,j}}{2\Delta\bar{x}} \quad (8)$$



Hình 4. Xấp xỉ bài toán trong phương pháp sai phân hữu hạn

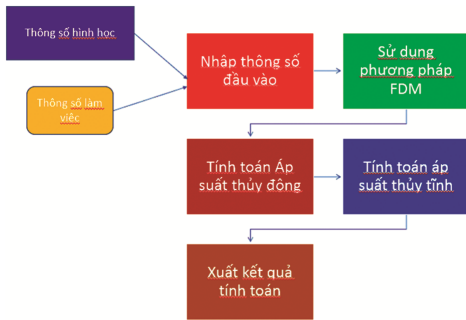
Từ phương trình (6), (7) và (8) ta thay vào phương trình (4) ta có phương trình tính toán áp suất của màng dầu bôi trơn như sau:

$$\bar{p}_{i,j} = \frac{1}{k_6} [k_1 \bar{p}_{i+1,j} + k_2 \bar{p}_{i-1,j} + k_3 \bar{p}_{i,j+1} + k_4 \bar{p}_{i,j-1} + k_5 H_p] \quad (9)$$

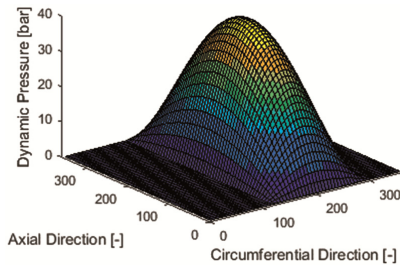
Ứng dụng phần mềm Matlab Simulink ta tiến hành giải bài toán theo sơ đồ như hình 5 với các thông số kỹ thuật như trong bảng 1. Ta thu được kết quả phân bố áp suất của màng dầu bôi trơn như trên các hình (6), (7), (8) và (9):

Bảng 1. Thông số kỹ thuật tính toán

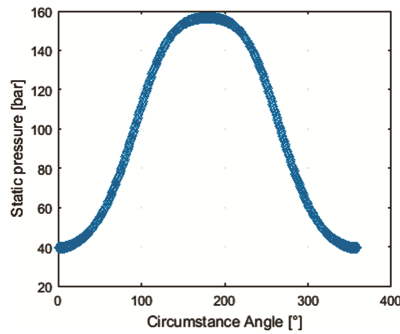
Thông số	Giá trị
Lưu lượng ($cm^3/vòng$)	63,5
Tốc độ quay Max (v/ph)	2000
Loại dầu	HLP46
Độ nhớt động lực	0,042 Pa.s
Nhiệt độ dầu	40°C



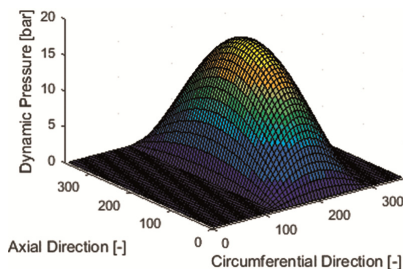
Hình 5. Sơ đồ chương trình tính toán phân bố áp suất



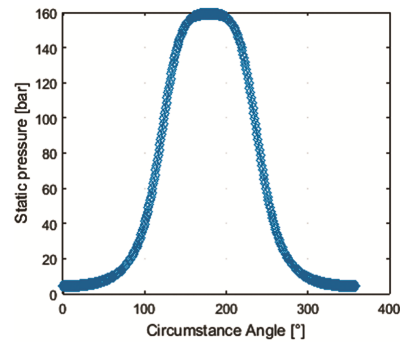
Hình 6. Phân bố áp suất thủy động khi $c = 50\mu\text{m}$



Hình 7. Phân bố áp suất thủy tĩnh khi $c = 50\mu\text{m}$



Hình 8. Phân bố áp suất thủy động khi $c = 100\mu\text{m}$



Hình 9. Phân bố áp suất thủy tĩnh khi $c = 100\mu\text{m}$

Từ kết quả mô phỏng này có thể thấy rằng giá trị khe hở hướng tâm thấp, áp suất thủy động cực đại sẽ tốt hơn so với giá trị khe hở hướng tâm lớn, trong khi đó, áp suất thủy tĩnh tối đa gần như giống nhau cho cả hai trường hợp. Tuy nhiên, đối với giá trị khe hở hướng tâm lớn, biên dạng áp suất thủy tĩnh có diện tích lớn hơn. Mặt khác, áp suất thủy động phụ thuộc nhiều vào giá trị khe hở hướng tâm, áp suất thủy động tỷ lệ nghịch với độ dày màng hay nó tỷ lệ nghịch với khe hở hướng tâm.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu trên, tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Bài báo đã sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) để tính toán và mô phỏng số phân bố áp suất của màng dầu bôi trơn của bơm bánh răng ăn khớp trong khi làm việc ở chế độ hỗn hợp với việc sử dụng tham số kết hợp H_p .

- Trên cơ sở ứng dụng cho bơm bánh răng ăn khớp trong, phương pháp đề xuất trong nghiên cứu này có thể áp dụng để tính áp suất của màng dầu bôi trơn cho tất cả các loại máy quay khác.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyen Van Kuu, Pham Trong Hoa, (2019). Numerical Analysis of Effect of Geometric Parameters on Hybrid Pressure Distribution in Internal Gear Motor and Pump. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường.