

MÔ PHỎNG SỐ MÀNG BƠM VÀ KHẢO SÁT THỰC NGHIỆM VẬN HÀNH BƠM LẤY MẪU KHÍ CÔNG SUẤT NHỎ

NUMERICAL STUDY OF THE SAMPLING PUMP'S MEMBRANE

Trần Khánh Dương

Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về mô phỏng dao động của màng bơm trong bơm lấy mẫu khí công suất nhỏ, phục vụ cho việc giám sát chất lượng khí trong các nhà xưởng. Nghiên cứu được thực hiện trên một mẫu mô hình màng 3D dùng trong chế tạo bơm lấy mẫu khí và được mô phỏng với việc xét đến ảnh hưởng của vật liệu chế tạo màng ở một số biên độ dao động khác nhau. Bốn loại vật liệu đã được đưa vào khảo sát với các biên độ dao động thay đổi từ 2-8 mm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được lựa chọn về vật liệu cũng như biên độ dao động phù hợp cho cấu hình màng bơm được khảo sát.

Từ khóa: Biên độ; Màng; PID; Bơm mẫu; Dao động.

ABSTRACT

The manuscript presents numerical results of the vibrations of the membrane of a low-power sampling pump for quality assurance of air in factories. We consider a three-dimensional membrane undergoing the influences of its materials and vibration amplitudes. Four materials are used to investigate with the membrane's amplitude varied in the range of 2-8 mm. The results provide an optimal option for the selected pump.

Keywords: Amplitude; Membrane; PID; Sampling pump; Vibration.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống đo nồng độ khí đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát chất lượng không khí cho một khu vực nhất định như trong một nhà xưởng sản xuất hoặc môi trường lao động khép kín. Trong hệ thống đó, bơm định lượng lấy mẫu khí là một phần tử không thể thiếu và có tác động trực tiếp đến chất lượng lấy mẫu khí của hệ thống. Bơm định lượng lấy mẫu là một loại bơm thuộc dòng bơm thể tích, bơm được thiết kế để bơm lưu chất ở dạng lỏng

hoặc khí một cách chính xác. Phương thức hoạt động của bơm định lượng lấy mẫu là thiết bị sẽ rút một lượng lưu chất đã được đo lường vào trong buồng chứa và sau đó sẽ bơm lượng lưu chất đó vào ống dẫn hoặc bể chứa.

Máy bơm định lượng có các dòng như bơm định lượng piston, bơm định lượng thủy lực, bơm định lượng điện tử và bơm định lượng dạng màng [1] có khả năng bơm lưu chất một cách chính xác theo ý muốn người dùng. Bơm định lượng hoạt động bằng động cơ điện loại

nhỏ hoặc động cơ truyền động bằng khí, thiết bị có thể được vận hành bằng hệ thống điều khiển bên ngoài (tự động) hoặc điều khiển bằng hệ thống của chính máy bơm (thủ công). Về phần điều khiển, người dùng có thể tùy ý điều chỉnh bơm vận hành theo ý muốn từ lưu lượng, thời gian bơm hoạt động, cảnh báo bơm chạy khô, khử khí, và kiểm soát chất lượng của dòng chảy... Do vậy, các bộ điều khiển phù hợp có thể được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu để đạt được những yêu cầu trên, có thể kể đến như: bộ điều khiển dự báo; bộ điều khiển PID [2] và các biến thể của nó;... Trong các loại bơm định lượng kể trên thì bơm định lượng dạng màng có nhiều ưu điểm như buồng làm việc khép kín và được ngăn cách độc lập với môi trường, khả năng điều khiển đơn giản và chính xác để đạt được lưu lượng khí yêu cầu.

Trong nghiên cứu này, màng bơm của bơm định lượng dạng màng được mô phỏng và khảo sát trên một mẫu hình 3D với các điều kiện khác nhau về vật liệu chế tạo màng bơm và biên độ dao động của màng bơm để tìm ra loại vật liệu phù hợp với phạm vi và mục đích sử dụng lấy mẫu khí. Ngoài ra, bộ điều khiển PID sẽ được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu nhằm tối ưu hoạt động của hệ thống. Mô hình màng bơm khảo sát được lấy từ mẫu màng bơm của bơm màng lấy mẫu trong hệ thống đo và giám sát nồng độ không khí thuộc đề tài nghiên cứu khoa học tiềm năng mang mã số 13/2019/TN. Thêm vào đó, một mẫu bơm màng cũng đã được tính toán, thiết kế và chế tạo cũng như vận hành thực nghiệm trong nghiên cứu này để đánh giá sự phù hợp của bơm màng trong việc lấy mẫu khí cho hệ thống giám sát không khí.

2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT CỦA MÀNG BƠM VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN KHẢO SÁT

2.1. Mô hình khảo sát của màng bơm

Trong nghiên cứu này, một mô hình màng bơm có biên dạng và kích thước thể hiện trên Hình 1 được khảo sát. Màng bơm có đường kính 110mm. Bốn loại vật liệu dùng cho màng bơm [3] được lựa chọn với các thông số chính được thể hiện trên Bảng 1 [4].



Hình 1. Hình dạng màng bơm

Với mỗi loại vật liệu khác nhau, mô hình màng bơm được mô phỏng với bốn biên độ dao động khác nhau của vùng trung tâm màng bơm lần lượt là $s = 2, 3, 5, 8\text{mm}$.

Bảng 1. Vật liệu màng bơm

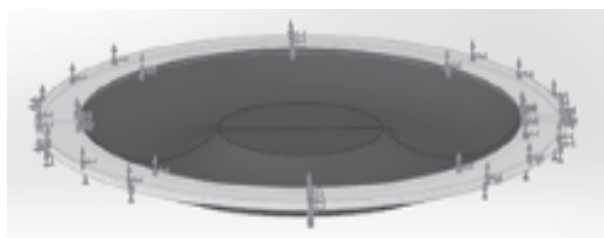
Material	Giới hạn bền kéo (Mpa)	Mô-đun đàn hồi (Mpa)	Khối lượng riêng (kg/m ³)
Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile-Butadiene Rubber)	15	3	1000
Ethylene Propylene Rubber (EPM, EPDM)	12.8	4.2	860
Butadiene Rubber (BR)	13.7871	6.1	1000
VITON (FBR)	11	5	1932.3

Mô hình 3D của màng bơm được xây dựng bằng phần mềm Solidworks và được mô phỏng bằng module mở rộng Simulation Add-in của chính phần mềm này.



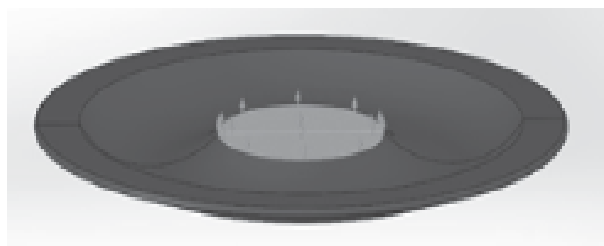
2.2. Thiết lập các điều kiện mô phỏng

Mô hình 3D sau khi được nhập sang môi trường mô phỏng của phần mềm Solidworks [5] sẽ được thiết lập các ràng buộc và các điều kiện đầu vào cho quá trình mô phỏng. Hình 2 biểu diễn gán ràng buộc cố định – Fix trên các bề mặt viền xung quanh màng bơm, là vị trí màng bơm được cố định vào thân bơm.



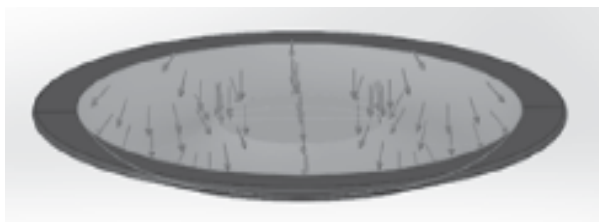
Hình 2. Thiết lập ràng buộc cố định – Fix

Vùng trung tâm của màng bơm sẽ được kết nối với trục cam và chính là khu vực tạo nên hành trình hút-đẩy của màng bơm. Hình 3 mô tả thiết lập biên độ dao động của hành trình vùng trung tâm màng bơm với các biên độ $s = 2, 3, 5, 8\text{mm}$.



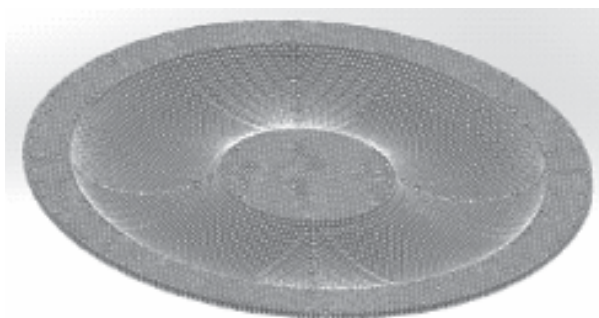
Hình 3. Thiết lập biên độ dao động màng bơm

Khi bơm hoạt động sẽ sinh ra một áp suất trong dòng lưu chất và áp suất này sẽ tác động lên bề mặt màng bơm làm cho biên dạng màng bơm thay đổi và do vậy sẽ ảnh hưởng đến thể tích thực khi bơm. Áp suất này cũng được đưa vào điều kiện đầu vào của quá trình mô phỏng và vùng chịu tác động được thể hiện trên Hình 4, độ lớn của áp suất được lấy bằng áp suất làm việc lớn nhất của bơm là 0.035MPa .



Hình 4. Áp suất tác động lên bề mặt màng bơm

Sau khi các ràng buộc và điều kiện đầu vào được thiết lập, mô hình 3D được chia lưới với Mesh Control và kích thước các cạnh của phần tử lưới được đặt là 1mm . Hình 5 thể hiện mô hình 3D sau khi đã chia lưới.

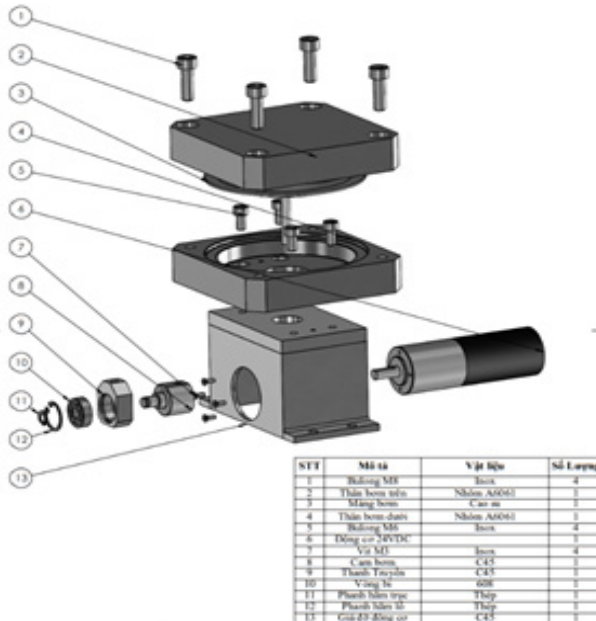


Hình 5. Chia lưới mô hình 3D màng bơm

3. CẤU HÌNH KẾT CẤU CƠ KHÍ BƠM LẤY MẪU VÀ HỆ THỐNG THỬ NGHIỆM BƠM

3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản khối thân bơm

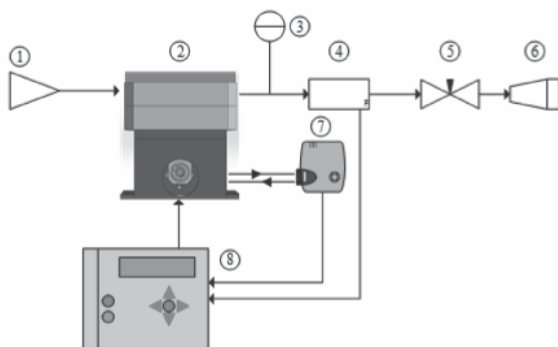
Với các thông số kỹ thuật của màng bơm như đã trình bày ở phần 2.1, một bộ thân bơm đã được thiết kế và chế tạo để đáp ứng việc lắp đặt màng bơm, phục vụ cho quá trình vận hành thử nghiệm bơm (Hình 6). Thân bơm được chế tạo từ vật liệu nhôm A6061, có kích thước ngoài dài x rộng tương ứng là $120\text{mm} \times 120\text{mm}$, đảm bảo đáp ứng đủ không gian để lắp đặt màng bơm cũng như không gian vận hành của màng bơm. Phần giá đỡ động cơ được làm từ vật liệu thép tấm C45 và được liên kết với nhau bằng các mối hàn kỹ thuật, chắc chắn.



Hình 6. Bộ thân bơm màng

3.2. Hệ thống thử nghiệm bơm

Bơm màng sau khi chế tạo và lắp ráp sẽ được vận hành thử nghiệm để đo đặc tính vận hành chính của bơm như đặc tính về lưu lượng Q và công suất N của bơm. Hình 7 thể hiện sơ đồ cấu hình của hệ thống thử nghiệm bơm.



Hình 7. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm bơm:

1. Lọc hút; 2. Bơm màng; 3. Đồng hồ đo áp;
4. Cảm biến lưu lượng không khí; 5. Van tiết lưu;
6. Tiêu âm; 7. Cảm biến tốc độ quay; 8. Bộ điều khiển PID

Trên sơ đồ Hình 7, lưu lượng khí ra khỏi bơm được đo bởi cảm biến lưu lượng không khí (4). Tín hiệu từ cảm biến được đưa về bộ điều khiển PID (8) và tại đây các thuật toán so sánh được thực hiện để đưa ra tín hiệu điều khiển tốc độ của động cơ. Van tiết lưu (5) được sử dụng để gây tải tạo áp suất cho dòng khí bơm ra. Tốc độ động cơ được đo bằng cảm biến tốc độ quay (7). Các thông số chính sẽ được thu thập bao gồm lưu lượng Q , áp suất p của bơm và số vòng quay n của động cơ. Lưu lượng bơm được đo ở các giá trị áp suất là $p = 10; 30; 50; 70; 90$ [kPa] với các giá trị tốc độ quay của động cơ kéo bơm lần lượt là $n = 50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450$ [vòng/phút].

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Chuyển vị và ứng suất của màng bơm

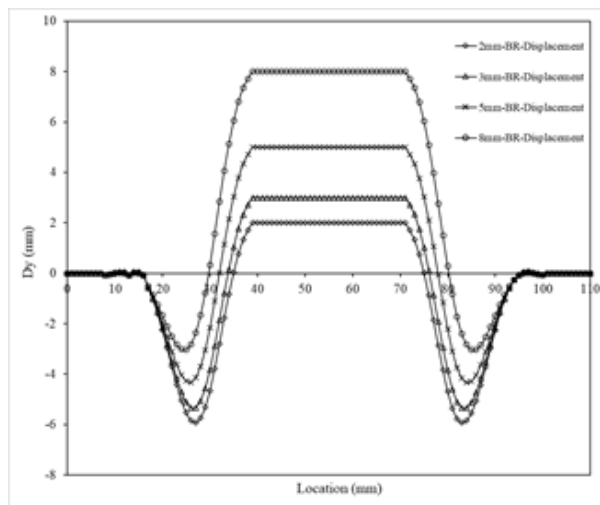
Để khảo sát chuyển vị và ứng suất của màng bơm trong quá trình vận hành, kết quả mô phỏng trên một mặt cắt đi qua tâm màng bơm sẽ được trích xuất. Hình 8 biểu diễn một ví dụ về chuyển vị của màng bơm trên mặt cắt ngang qua tâm với hành trình vùng trung tâm màng bơm $s = 5\text{mm}$.



Hình 8. Ví dụ về chuyển vị của màng bơm với $s = 5\text{mm}$

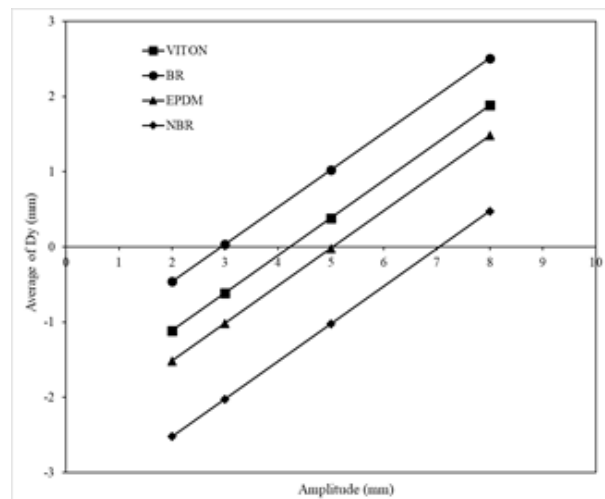
Hình 9 thể hiện kết quả mô phỏng chuyển vị tại mặt cắt đi qua tâm của màng bơm đối với trường hợp màng làm vật liệu BR (Butadiene Rubber). Có thể thấy trên Hình 9, chuyển vị của màng bơm có phần chuyển vị dương và phần chuyển vị âm. Chuyển vị dương chính là phần hình thành nên thể tích làm việc hữu ích của buồng bơm, còn chuyển vị âm

hình thành nên thể tích vô ích trong quá trình bơm vận hành. Để đánh giá về tương quan giữa chuyển vị dương và chuyển vị âm, nghiên cứu này đã sử dụng giá trị trung bình các chuyển vị trên mặt cắt đi qua tâm màng bơm. Nếu trung bình các chuyển vị có giá trị dương nghĩa là chuyển vị dương chiếm ưu thế hơn so với chuyển vị âm và ngược lại.



Hình 9. Kết quả mô phỏng chuyển vị của màng bơm
(Vật liệu BR – Butadiene Rubber; $s = 2, 3, 5, 8\text{mm}$)

Hình 10 thể hiện kết quả tính giá trị trung bình chuyển vị cho các kết quả mô phỏng màng bơm với bốn loại vật liệu khác nhau và với bốn biên độ dao động khác nhau của màng bơm. Kết quả cho thấy với màng bơm làm bằng vật liệu BR (Butadiene Rubber) thì giá trị trung bình chuyển vị có ba giá trị dương, trong khi đó với các vật liệu khác chỉ có hai hoặc một. Điều đó chứng tỏ màng bơm làm bằng vật liệu BR, có thông số mô-đun đàn hồi bằng 6.1MPa, sẽ cho giá trị về thể tích hữu ích của bơm là tốt hơn cả trong bốn loại vật liệu.

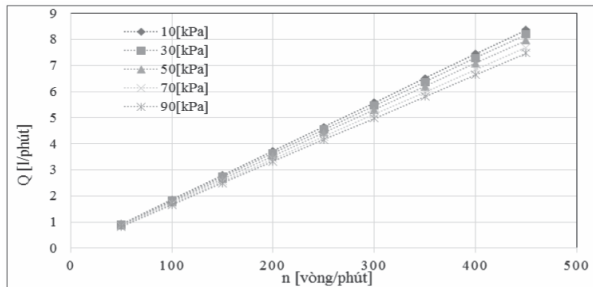


Hình 10. Trung bình chuyển vị của màng bơm tại mặt cắt đi qua tâm

Cũng từ Hình 10 có thể nhận thấy với vật liệu làm màng bơm bằng BR, trung bình chuyển vị của màng bơm có giá trị dương với $s = 5\text{mm}$ và $s = 8\text{mm}$, còn ở các giá trị khác của s thì trung bình chuyển vị xấp xỉ bằng không hoặc có giá trị âm, nghĩa là thể tích hữu ích khá nhỏ hoặc chỉ có thể tích vô ích. Với $s = 8\text{mm}$ thì thể tích hữu ích là lớn nhất, nhưng điều đó có nghĩa là tốc độ động cơ vận hành bơm cũng phải giảm xuống để đảm bảo một lưu lượng trung bình cố định cần thiết. Tốc độ động cơ giảm sẽ dẫn tới tần số dao động của màng bơm sẽ giảm theo, do đó thời gian biến thiên về lưu lượng khí sẽ tăng lên, không có lợi khi sử dụng các bình tích dung tích nhỏ, gọn nhẹ để bình ổn lưu lượng khí đầu ra cũng như phát hiện sớm mức độ thay đổi nồng độ khí. Vì vậy, lựa chọn $s = 5\text{mm}$ là phù hợp cho biên độ dao động của màng bơm. Dựa trên kết quả chuyển vị của màng bơm cho trường hợp $s = 5\text{mm}$, ta tính ra được thể tích làm việc của màng bơm thông qua phần mềm Solidworks là $V = 15.22\text{cm}^3$. Để đạt lưu lượng trung bình thiết kế $Q = 7 \text{ [l/min]}$ thì động cơ cần có số vòng quay $n = 460 \text{ [rpm]}$, tương ứng với tần số dao động của màng bơm $Fz = 7.67\text{Hz}$.

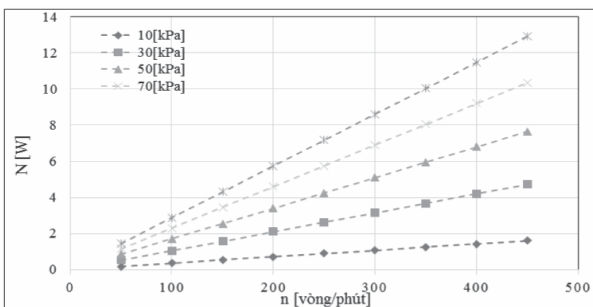
4.2. Kết quả đo thực nghiệm đặc tính bơm

Hình 11 thể hiện kết quả các đường đặc tính lưu lượng Q của bơm màng theo số vòng quay n và ở các giá trị áp suất khác nhau. Từ kết quả này có thể thấy bơm màng có lưu lượng phụ thuộc vào tốc độ động cơ kéo bơm, trong khi đó không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của áp suất khí ở đầu ra của bơm. Điều này rất có lợi cho quá trình điều khiển bơm để ổn định được lưu lượng cấp vào hệ thống đo bụi và đo nồng độ khí.



Hình 11. Đường đặc tính n - Q của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau

Kết quả mô tả mối quan hệ giữa số vòng quay n của động cơ và công suất bơm N được thể hiện trên Hình 12. Kết quả thực nghiệm trên Hình 12 cho thấy, với giá trị áp suất nhỏ tại cửa ra của bơm thì công suất bơm thay đổi không đáng kể, nhưng khi áp suất ở cửa ra càng cao thì công suất bơm phụ thuộc rõ nét vào sự thay đổi về tốc độ quay của trục bơm.



Hình 12. Đường đặc tính n - N của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đưa một mô hình màng bơm 3D của bơm lấy mẫu khí vào khảo sát với các thông số điều kiện đầu vào mô phỏng gần nhất với thực tế. Một vài loại vật liệu thông dụng làm màng bơm cũng được đưa vào nghiên cứu để tìm ra loại vật liệu phù hợp nhất. Kết quả mô phỏng cho thấy với vật liệu BR sẽ cho hiệu quả cao nhất về vùng thể tích hữu dụng trong bơm và đề xuất biên độ dao động của màng bơm $s = 5\text{mm}$ là phù hợp cho kết cấu màng khảo sát. Với biên độ này thì độ ổn định lưu lượng đầu ra của bơm sẽ dễ được kiểm soát và điều chỉnh. Các kết quả thực nghiệm đo đặc tính của mẫu bơm màng cũng đã chỉ ra rằng, mẫu bơm màng được thiết kế và chế tạo trong nghiên cứu này có lưu lượng hoàn toàn phụ thuộc vào số vòng quay của động cơ mà không phụ thuộc vào áp suất đầu ra của bơm, điều đó rất thích hợp cho việc điều khiển chính xác lưu lượng lấy mẫu khí thông qua việc điều khiển số vòng quay của động cơ kéo bơm. Mẫu bơm màng trong nghiên cứu này có khoang làm việc kín, mức độ rò rỉ rất thấp do đó có thể sử dụng vào việc bơm các loại chất khí khác nhau mà không lo bị rò rỉ ra môi trường. ❖

Ngày nhận bài: 12/4/2024

Ngày phản biện: 08/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. “Máy bơm định lượng là gì?”, <https://wsc.com.vn/may-bom-dinh-luong-la-gi.html> (accessed Feb. 22, 2022).
- [2]. L. Chen, Y. Liu, L. Sun, D. Qu, and J. Min, “Intelligent control of Piezoelectric Micropump based on MEMS flow sensor”, in 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct. 2010, pp. 3055-3060. doi: 10.1109/IROS.2010.5649844.
- [3]. “Hướng dẫn lựa chọn vật liệu màng bơm phù hợp với nhu cầu”, asatech.vn - Nhà Cung Cấp Bơm Công Nghiệp Uy Tín, <https://asatech.vn/huong-dan-lua-chon-chat-lieu-mang-bom-phu-hop-voi-nhu-cau> (accessed Feb. 22, 2022).
- [4]. “Rubber or Thermoset Elastomer (TSE) Manufacturers, Suppliers, and Distributors”, <http://www.matweb.com/reference/Manufacturers.aspx?MatGroupID=93> (accessed Feb. 22, 2022).
- [5]. “3D CAD Design Software | SOLIDWORKS”, <https://www.solidworks.com/home-page-2021> (accessed Feb. 22, 2022).