

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT LEO TƯỜNG, TRẦN NHÀ DESIGNING, MANUFACTURING ROBOT FOR CLIMBING WALLS AND CEILINGS

**Huỳnh Nguyễn Hoàng, Hồ Minh Phương**  
*Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM*

## ABSTRACT

In design and manufacture research of mobile robot with capable of climbing stick on walls and ceilings, the biggest challenge is set robot must be able to cling with the wall for cracks or small gaps, not dirty walls, can stick on the different surfaces. With these challenges is the commonly used methods such as vacuum aspiration, using glue or other adhesive to stick, simulating biological from climbing animals, using techniques of magnet... can not respond. So the main objective of the project is to research the design and manufacture of wall climbing robots using non-contact suction method. The main contents of this method using air source is supplied from the compressor, run through the suction mechanism is designed to speed up the air flow velocity is very high and thus will create low pressure areas can adhesion the wall. This method can solve the problems and challenges mentioned.

## TÓM TẮT

Trong nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot di động có khả năng leo bám trên tường, trần nhà thì những thách thức lớn nhất đặt ra là robot phải có thể bám được khi gặp tường có vết nứt hoặc khe hở nhỏ, không làm bẩn bề mặt tường, có thể bám được trên các loại bề mặt khác nhau. Với những thách thức đó thì những phương pháp thường hay sử dụng như: giác hút chân không, dùng keo hoặc các chất dính kết để bám, mô phỏng sinh học từ những loài động vật leo trèo, dùng kỹ thuật từ tính... không thể đáp ứng được. Vì vậy mục tiêu chính của đề tài là nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot leo tường sử dụng phương pháp hút không tiếp xúc. Nội dung chính của phương pháp này là lấy nguồn khí được cấp từ máy nén khí, qua cơ cấu hút được thiết kế để đẩy vận tốc dòng khí lên rất cao và từ đó sẽ tạo ra vùng áp suất thấp có khả năng hút tường. Phương pháp này có thể giải quyết được những khó khăn và thách thức đã nêu.

## I. GIỚI THIỆU

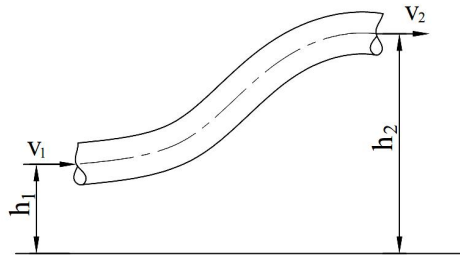
Ngày nay, Robot được nghiên cứu rất nhiều để phần nào có thể thay thế sức lao động của con người. Tuy nhiên có một vấn đề được đặt ra và đang là thách thức đối với người làm Robot đó là phải thiết kế một con Robot leo tường, leo trần nhà để quét dọn và lau chùi (thường là vào những dịp lễ, tết cô truyền nhà nhà phải quét ván nhện, lau la phòng, lau trần nhà). Công việc này từ trước đến nay thì con người vẫn phải thực hiện bằng tay và công việc cũng khá vất vả, bởi vì khi chúng ta đứng dưới sàn nhà mà ngược mặt nhìn lên để quét

dọn trong thời gian dài thì rất mỏi cổ, mỏi mắt và dễ bị chóng mặt.

Trước yêu cầu thực tế nêu trên, đề tài “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot leo tường, trần nhà” được thực hiện nhằm để chế tạo ra robot có thể thay thế con người thực hiện công việc quét ván nhện, lau chùi la phòng, trần nhà.

## II. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ BERNOULLI TẠO RA CƠ CẤU HÚT

Khảo sát dòng không khí chuyển động bên trong ống dẫn như hình 1.



**Hình 1:** Không khí chuyển động trong ống dẫn.

Phương trình Bernoulli cho dòng khí chuyển động giữa hai mặt cắt [1].

$$\gamma \cdot h_1 + \frac{\gamma \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + p_1 = \gamma \cdot h_2 + \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + p_2 + \Delta p \quad (1)$$

Trong đó:

$p$  - Áp suất tĩnh, [N/m<sup>2</sup>].

$v$  - Vận tốc chuyển động của không khí trong ống dẫn, [m/s].

$\gamma = \rho \cdot g$  - Trọng lượng riêng của không khí, [N/m<sup>3</sup>].

$\rho$  - Khối lượng riêng của không khí, [kg/m<sup>3</sup>].

$h$  - Độ cao tính từ mặt phẳng quy chuẩn, [m].

$\Delta p$  - Tổn thất áp suất khi dòng chảy đi từ mặt cắt (1 – 1) đến (2 – 2).

Phương trình (1) được viết cho dòng khí lý tưởng, còn đối với chất khí thực thì khá phức tạp. Do mục đích nghiên cứu là tìm ra nguyên lý hút để ứng dụng vào việc chế tạo robot leo tường nên ta giả thiết rằng chất khí là lý tưởng và bỏ qua tổn thất áp suất. Vì vậy phương trình (1) được viết lại.

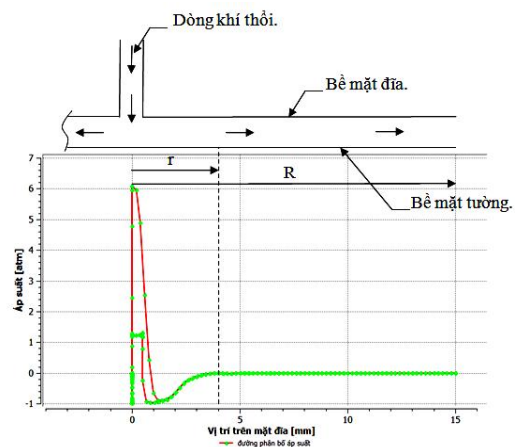
$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gh_2 \quad (2)$$

Nếu ống đặt nằm ngang hoặc không có sự chênh lệch nhiều về độ cao của hai điểm xét thì phương trình (2) được viết lại:

$$\rho \frac{v^2}{2} + p = const \quad (3)$$

Phương trình (3) cho thấy rằng vận tốc  $v$  và áp suất  $p$  tỉ lệ nghịch với nhau. Vận tốc càng tăng thì áp suất trong ống sẽ càng giảm để luôn luôn đảm bảo về phải là hằng số.

Để vận dụng và phát triển ứng dụng nguyên lý này, ta tiến hành một thử nghiệm đơn giản với thiết kế như sau: gia công một đĩa tròn bằng nhôm đường kính  $\varnothing 30$  [mm], dày 2 [mm], tại tâm đĩa có lắp ghép một chi tiết trụ  $\varnothing 5$  [mm] (cùng vật liệu). Tại tâm của khối chi tiết lắp ghép này ta khoan một lỗ nhỏ đường kính  $\varnothing 1$  [mm]. Áp suất 686465,5 [Pa] được cấp vào đầu trụ  $\varnothing 5$  [mm] từ một ống dẫn khí  $\varnothing 8$  [mm] và mặt đĩa được đặt áp tường, kết quả là áp suất được phân bố như đồ thị 1.



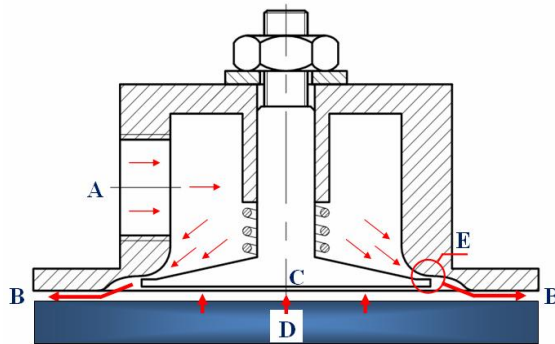
**Đồ thị 1:** Phân bố áp suất trên bề mặt đĩa.

### III. THIẾT KẾ CƠ CẤU HÚT

Qua kết quả mô phỏng thí nghiệm ở đồ thị 1, ta thấy phía dưới mặt đĩa áp suất giảm nên có thể vận dụng nguyên lý này để thiết kế cơ cấu hút tường cho robot. Trong phần này, để dễ so sánh các kiểu thiết kế và cải tiến thiết kế ta mô phỏng ở cùng áp suất  $p = 686465,5 \text{ [Pa]} = 7 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ .

#### 3.1 Thiết kế ban đầu

Với nguyên lý tăng vận tốc thì áp suất giảm, ta thiết kế cơ cấu hút như hình 2



Hình 2: Cơ cấu hút được cấp khí theo phương ngang.

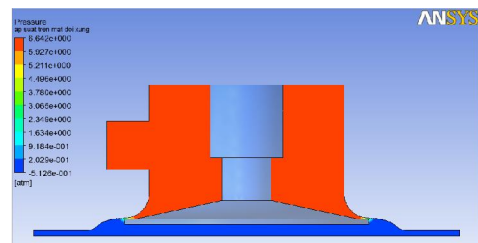
Trong đó:

- A - Nơi cung cấp khí nén từ máy nén khí.
- B - Cửa thoát khí.
- C – Chốt điều chỉnh khe hở miệng vòi.
- D - Đối tượng cần hút (có thể là tường hoặc tất cả các bề mặt phẳng).
- E - Miệng vòi phun.

Mô phỏng với ansys cho kết quả như bảng 1 và hình 3.

Bảng 1: Kết quả mô phỏng cơ cấu hút.

Lực hút [N]	Lưu lượng [l/ph]
15,7289	314,47



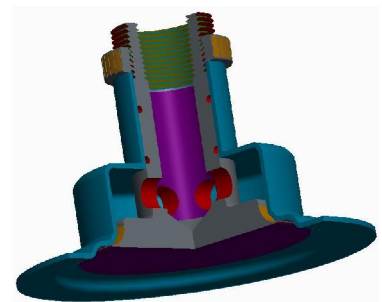
Hình 3: Áp suất trên mặt đối xứng.

#### 3.2 Cải tiến thiết kế cho cơ cấu hút.

##### 3.2.1 Cải tiến tính công nghệ.

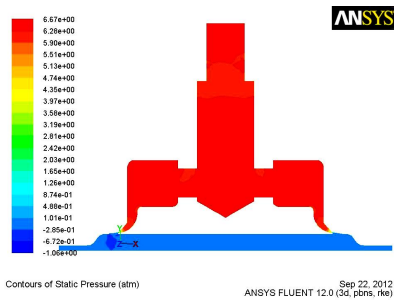
Phân tích tính công nghệ:

- Vì khí được cấp theo phương ngang nên thân cơ cấu hút phải đủ dày để lắp ghép đầu nối khí nén. Do đó ta có thể thiết kế cấp khí theo phương đứng để giảm bề dày thân cơ cấu hút.
- Bên trong thân cơ cấu hút có đoạn trụ để lắp chốt, đoạn trụ này đặt bên trong sẽ rất khó gia công nên ta sẽ đưa đoạn trụ này ra ngoài.
- Thay vì dùng lò xo để đẩy thân chốt kín khí không cho khí thổi ra ngoài thì ta có thể gia công hai rãnh trên thân chốt để lắp vòng chặn khí bằng cao su.

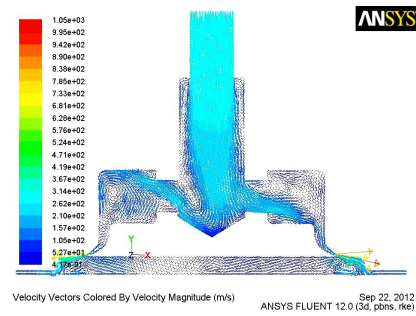


Hình 4: Cơ cấu hút đã được cải tiến.

Vậy ta sẽ thiết kế lại cơ cấu hút như hình 4. Kết quả mô phỏng áp suất thể hiện ở hình 5, mô phỏng vận tốc thể hiện ở hình 6.

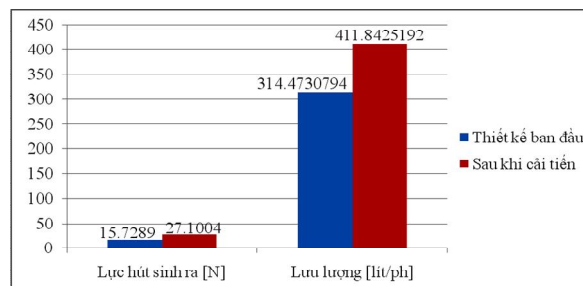


Hình 5: Áp suất trên mặt đối xứng.



Hình 6: Vận tốc trên mặt đối xứng.

So sánh giữa lần thiết kế ban đầu và sau khi cải tiến, thể hiện ở đồ thị 2.

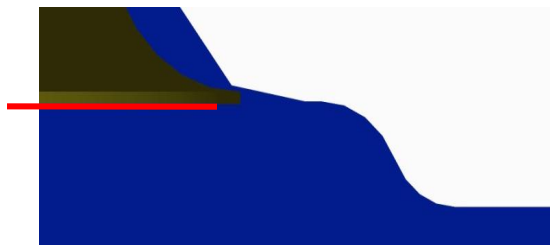


Đồ thị 2: So sánh kết quả thiết kế ban đầu và sau khi cải tiến.

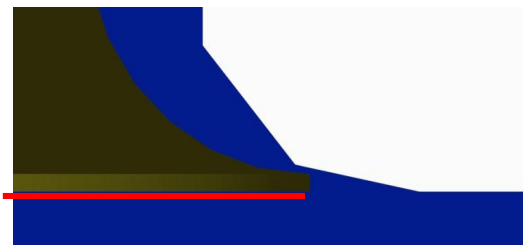
### 3.2.2 Thay đổi vị trí đặt miệng vòi theo phương đứng.

Trường hợp 1: Mặt dưới chốt điều chỉnh đặt âm sâu bên trong (hình 7).

Trường hợp 2: Mặt dưới chốt điều chỉnh đặt ngang mặt đáy (hình 8).

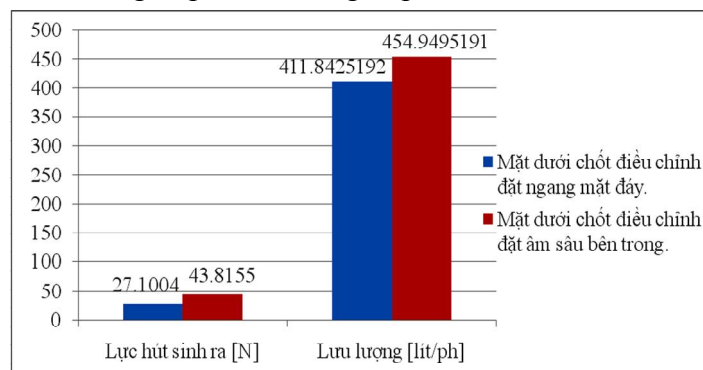


Hình 7: Mặt dưới chốt điều chỉnh đặt âm sâu bên trong



Hình 8: Mặt dưới chốt điều chỉnh đặt ngang mặt đáy

Kết quả so sánh trường hợp 1 và trường hợp 2 thể hiện ở đồ thị 3.



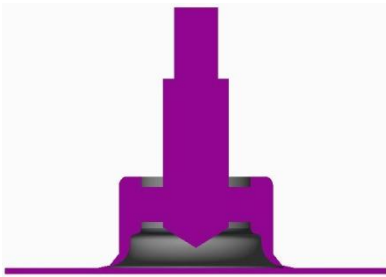
Đồ thị 3: So sánh kết quả thay đổi thiết kế ở trường hợp 1 và trường hợp 2.

### 3.2.3 Thay đổi vị trí đặt miệng vòi theo phương ngang

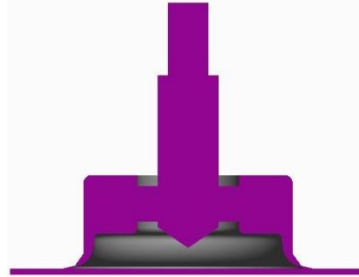
Trường hợp 1: Vòi đặt sát trong (hình 9).

Trường hợp 2: Vòi đặt ở giữa (hình 10).

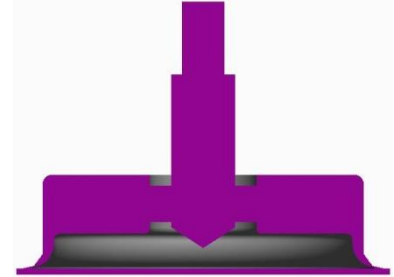
Trường hợp 3: Vòi đặt sát mép ngoài (hình 11).



**Hình 9:** Vòi đặt sát trong (vành mép lớn).

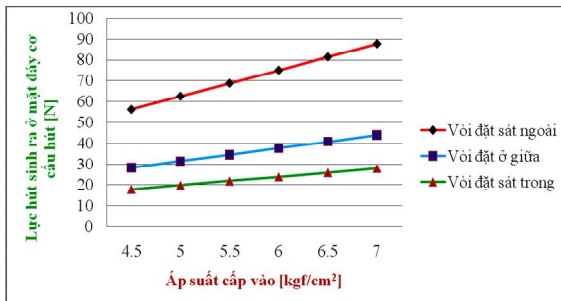


**Hình 10:** Vòi đặt ở giữa.

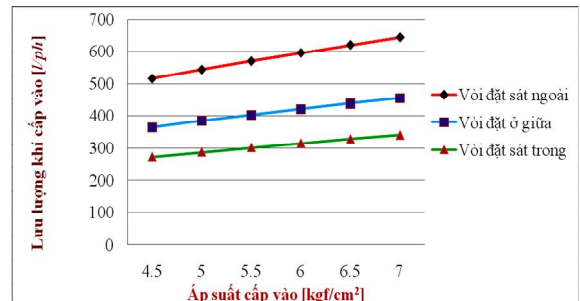


**Hình 11:** Vòi đặt sát mép ngoài (không còn vành mép).

Kết quả so sánh về lực hút sinh ra và lưu lượng khí cần cung cấp của ba trường hợp.



**Đồ thị 4:** Lực hút sinh ra của 3 trường hợp đặt vòi theo phương ngang.

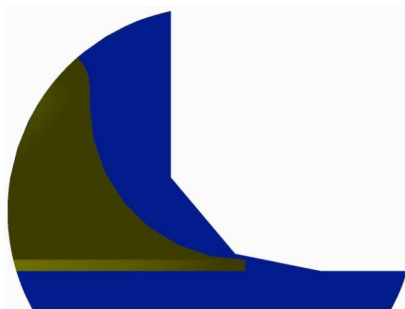


**Đồ thị 5:** Lưu lượng khí cần cung cấp của 3 trường hợp đặt vòi theo phương ngang.

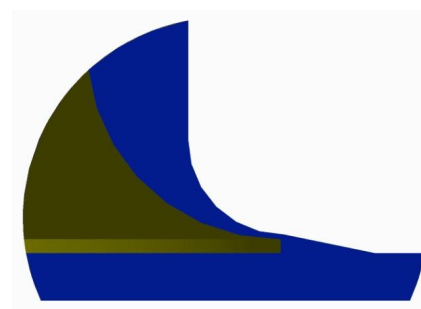
### 3.2.4 Thay đổi hình dáng miệng vòi.

Trường hợp 1: Miệng vòi được vát cạnh.

Trường hợp 2: Miệng vòi được bo tròn.

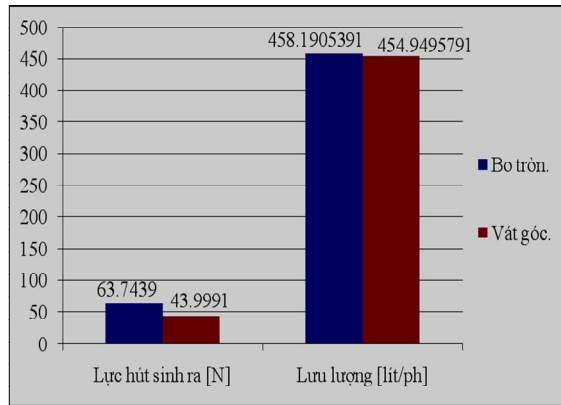


**Hình 12:** Miệng vòi được vát cạnh.



**Hình 13:** Miệng vòi được bo tròn.

Kết quả so sánh hai trường hợp miệng vòi được bo tròn và vát cạnh được thể hiện ở đồ thị 6.



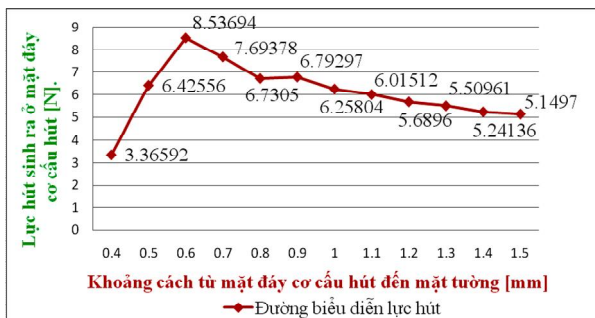
Đồ thị 6: So sánh thay đổi thiết kế của 2 trường hợp miệng vòi bo tròn và vát góc.

### 3.3 Nhận xét và kết luận

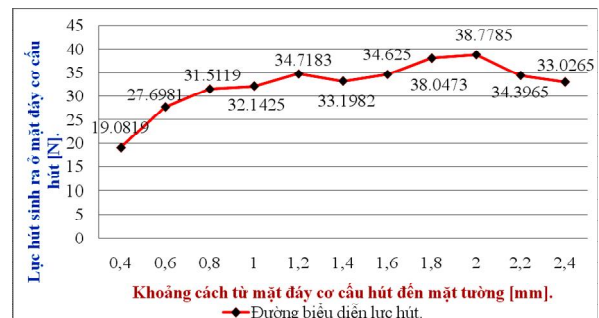
Những điểm nhận xét quan trọng để có thể tạo ra được cơ cấu hút tốt nhất:

- Miệng vòi nên đặt sát mép ngoài, tức là cơ cấu hút sẽ không có vành mép.
- Mặt dưới chốt điều chỉnh nên đặt ngang với mặt đáy cơ cấu hút, điều này có nghĩa là nên hạ thấp vị trí miệng vòi xuống mức thấp nhất có thể (gần mặt đáy).
- Miệng vòi nên được bo tròn.

Tuy nhiên, với cơ cấu hút không có vành mép và bố trí mặt dưới chốt điều chỉnh ngang với mặt đáy cơ cấu hút thì khi hút cơ cấu bám sát vào mặt tường hơn so với thiết kế cơ cấu hút có vành mép và miệng vòi đặt âm sâu bên trong (thể hiện ở đồ thị 7 và đồ thị 8).

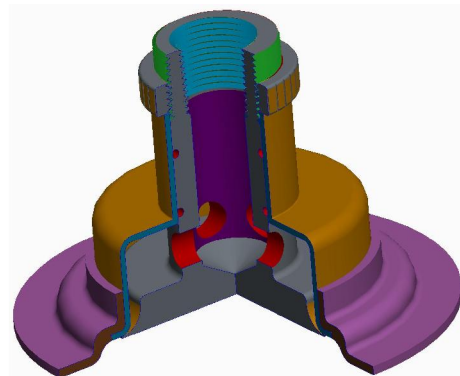


Đồ thị 7: Lực hút sinh ra tại những khoảng hở tường khác nhau đối với cơ cấu hút không có vành mép và bố trí mặt dưới chốt điều chỉnh ngang với mặt đáy cơ cấu hút. (mô phỏng ở áp suất  $p = 4$  [kgf/cm<sup>2</sup>])



Đồ thị 8: Lực hút sinh ra tại những khoảng hở tường khác nhau đối với cơ cấu hút có vành mép và bố trí mặt dưới chốt điều chỉnh âm sâu bên trong. (mô phỏng ở áp suất  $p = 7$  [kgf/cm<sup>2</sup>])

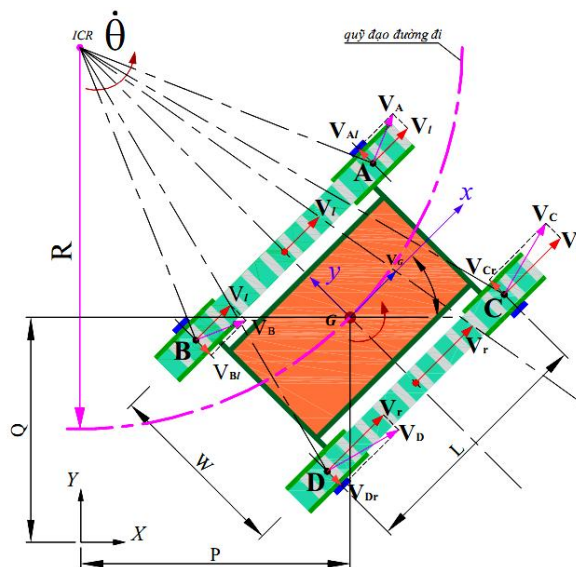
Cơ cấu hút sinh ra lực hút lớn ở khoảng hở tường nhỏ (đồ thị 7) thì rất khó áp dụng cho robot leo tường bởi vì lý do sai số chế tạo, độ không phẳng của mặt tường... mà thân robot mang cơ cấu hút khó đảm bảo cố định được khe hở nhỏ đó. Để áp dụng cho robot leo tường thì cơ cấu hút tường phải là cơ cấu hút không tiếp xúc (bố trí chốt điều chỉnh âm sâu bên trong, góc cạnh tại miệng vòi phun được bo tròn và có vành mép) được thiết kế như hình 14.



Hình 14: Cơ cấu hút không tiếp xúc sử dụng cho robot leo tường.

## IV. ĐỘNG HỌC ROBOT

Khảo sát robot thiết kế dạng đai (xích) chuyển động theo quỹ đạo cong như hình 15.



**Hình 15:** Phân tích động học robot.

Với các thông số

$V_G$  – Vận tốc của Robot tại tâm G.

$V_l$  – Vận tốc của bánh xích (đai) bên trái.

$V_r$  – Vận tốc của bánh xích (đai) bên phải.

$r$  – Bán kính của bánh xe mang xích (đai).

$\omega_l$  - Vận tốc góc của bánh xe bên trái.

$\omega_r$  - Vận tốc góc của bánh xe bên phải.

$R$  – Bán kính cong tức thời của quỹ đạo đường đi.

$\theta$  - góc quay của robot quanh cực hay góc quay của hệ quy chiếu (x,y) so với hệ quy chiếu (X,Y).

Ta có: 
$$\dot{\theta} = \frac{V_l}{R - \frac{W}{2}} \tag{4}$$

$$\dot{\theta} = \frac{V_r}{R + \frac{W}{2}} \tag{5}$$

Từ (4) và (5) ta suy ra:

$$\dot{\theta} = \frac{V_r - V_l}{W} \tag{6}$$

$$R = \frac{W}{2} \cdot \frac{V_r + V_l}{V_r - V_l} \tag{7}$$

Vận tốc của robot tại tâm G:

$$\dot{x} = V_G = \dot{\theta}.R = \frac{V_r + V_l}{2} \quad (8)$$

Vậy ta có hệ phương trình:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r/2 & r/2 \\ 0 & 0 \\ -r/W & r/W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_l \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (9)$$

Phương trình động học cho robot:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & P \\ \sin \theta & \cos \theta & Q \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}.\cos \theta + P \\ \dot{x}.\sin \theta + Q \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{r}{2} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta & P \\ \sin \theta & \sin \theta & Q \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_l \\ \omega_r \\ 1 \end{bmatrix}$$

Trường hợp tổng quát, ở thời gian thực t ta có:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}(t) \\ \dot{Y}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}(t).\cos(\theta(t)) + P(t) \\ \dot{x}(t).\sin(\theta(t)) + Q(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

## V. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Thông số kỹ thuật:

Khối lượng robot  $m = 1,5$  [kg].

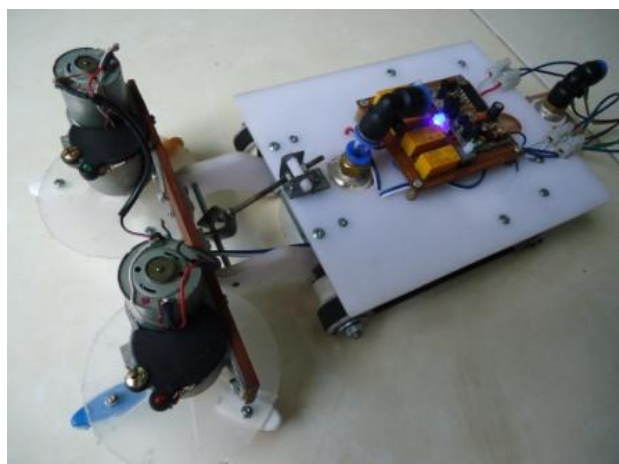
Chiều dài: 342,76 [mm].

Chiều rộng: 187 [mm].

Chiều cao: 86,64 [mm].

Áp suất cấp vào  $p = 7$  [kgf/cm<sup>2</sup>].

Tốc độ di chuyển: 0,05 [m/s].



**Hình 16:** Robot leo tường quét ván nhện, bụi bẩn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ths. Trần Văn Lịch, *Giáo trình thủy khí động lực*, nhà xuất bản giáo dục, 2005.
- [2] Ths. Phùng Chân Thành, *Kỹ Thuật Thủy Lực Khí Nén*.
- [3] Trịnh Chất – Lê Văn Uyển, *Tính toán thiết kế hệ thống dẫn động cơ khí tập 1,2*, nhà xuất bản giáo dục, 2006.
- [4] *Jizhong Xiao and Ali Sadegh., City-Climber: A New Generation Wall-climbing Robots*, (The City College, City University of New York USA).
- [5] Tutorial 1. Introduction to using ANSYS FLUENT in Ansys Workbench.
- [6] Ansys Fluent 12.0 tutorial guide.
- [7] Kristof Goris, *Autonomus Mobile Robot Mechanical Design*, Vrije Universiteit Brussel, 2004 - 2005.
- [8] Kungl Tekniska Hogskolan, *Robot Kinematics*, Centre for Autonomous Systems, 27th April 2005.
- [9] Ali Gholipour, M.J.Yazdanpanah, *dynamictrackingcontrol of nonholonomic mobile robotwith model reference adaptation for uncertainparameters*, Centre for Autonomous Systems, 27th April 2005.
- [10] Jingang Yi - Dezhen Song - Junjie Zhang - Zane Goodwin, *Adaptive Trajectory Tracking Control of Skid-Steered Mobile Robots*.
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Friction>
- [12] <http://www.phuclanshop.com/TraoDoiHocTap>
- [13] [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_fric.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_fric.htm)
- [14] <http://quocphong.baodatviet.vn/Home/KHCN/kh-tt/khtt-taisao/Dieu-khien-tu-xa-hoat-dong-nhu-the-nao/20108/106932.datviet>
- [15] [http://vi.wikipedia.org/wiki/Ma\\_sát](http://vi.wikipedia.org/wiki/Ma_sát)