

# Hiệu chỉnh bán kính đỉnh răng bánh răng trong của bơm bôi trơn hypôxylôit nhằm đảm bảo điều kiện mòn đều

The Correction of the Addendum Radius of the Internal Gear in the Oil Hypocycloid Pump to Achieve Equal Wear Rates

Nguyễn Hồng Thái<sup>1\*</sup>, Trương Công Giang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

<sup>2</sup> Trường Cao đẳng Kinh tế - Kỹ thuật Vĩnh Phúc - Hội Hợp, Vĩnh Yên, Vĩnh phúc, Việt Nam

Đến Tòa soạn: 25-5-2018; chấp nhận đăng: 18-01-2019

## Tóm tắt

Trong quá trình ăn khớp của cặp bánh răng hypôxylôit ăn khớp trong, tất cả các cặp răng đối tiếp đều tham gia quá trình ăn khớp. Để ứng dụng trong thiết kế bơm người ta đã lợi dụng sự biến đổi thể tích của các khoang trống của các cặp răng đối tiếp trong quá trình ăn khớp để làm khoang bơm. Dưới tác dụng của mô men xoắn trên trục dẫn động tại mỗi thời điểm ăn khớp các răng của bánh răng trong sẽ truyền một lực lên các răng của bánh răng ngoài làm bánh răng ngoài chuyển động để tạo sự biến thiên thể tích ở các khoang bơm tạo ra áp lực hút và áp lực đẩy. Ngoài ra, trong quá trình ăn khớp các cặp biên dạng đối tiếp vừa lăn vừa trượt trên nhau dẫn đến có vận tốc trượt tương đối giữa hai biên dạng đối tiếp tại các điểm ăn khớp. Vận tốc này sẽ dẫn đến hiện tượng mòn không đều của cặp bánh răng. Vì vậy, trong quá trình thiết kế người thiết kế phải lựa chọn hai thông số là  $R_1$  và  $r_a$  đây là hai biến thiết kế biên dạng roto của bơm. Đã có một số nghiên cứu về vấn đề này nhưng chưa tìm ra mối quan hệ của hai thông số này nhằm đảm bảo điều kiện mòn đều mà phải sử dụng các công cụ khác nhau để so sánh và lựa chọn. Để giải quyết vấn đề này bài báo sẽ trình bày cách thiết lập tìm ra mối quan hệ này.

Từ khóa: Bơm hypôgerôto, trượt biên dạng, bánh răng hypôxylôit.

## Abstract

During the meshing process of a pair of internal hypocycloid gears, all of the mating teeth are in contact to their counterparts. In order to apply in designing rotary positive displacement pumps, one has used the variation of the tooth space to trap fluid and to force it around the outer periphery. The variation of the tooth space generates suction and discharge effects. During the meshing process, there is profile sliding between the teeth in each mating pair, which results in unequal tooth wear. Therefore, practitioners have to select two parameters  $R_1$  and  $r_a$  for the rotor tooth profile during designing process. Up to date, the optimal combinations of these two parameters in order to achieve equal wearing rates have not yet been established. This paper presents a method for finding this relationship.

Keywords: Hypogenerator pump, profile sliding, hypocycloid gear.

## 1. Đặt vấn đề

Bơm thủy lực thể tích bánh răng xylôit ăn khớp trong Gerôto đang được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống bôi trơn của động cơ đốt trong cũng như các thiết bị công nghiệp do có ưu điểm trong quá trình ăn khớp, tất cả các răng đều tham gia ăn khớp làm cho quá trình ăn khớp diễn ra êm dịu không gây tiếng ồn, kích thước nhỏ gọn, tuổi thọ và hiệu suất cao [1, 2]. Tuy nhiên, cho đến nay các nhà khoa học trên thế giới vẫn tập trung vào nghiên cứu loại bơm này nhằm tối ưu kích thước, cũng như cải thiện chất lượng làm việc của bơm [3], cho đến gần đây Hwang và Hsieh (2007) [4] đã đề xuất đưa cặp bánh răng hypôxylôit ăn khớp trong vào thiết kế bơm bôi trơn

thủy lực thể tích và được gọi là bơm Hypôgerôto. Ở nghiên cứu của Hwang và Hsieh đã đề cập đến việc thiết lập phương trình biên dạng và đưa ra các điều kiện hình thành biên dạng răng của bánh răng ngoài nhằm tránh hiện tượng cắt lẹm chân răng. Trên cơ sở đó đến năm 2009 [5] Kwon và cộng sự lại tiếp tục nghiên cứu và bổ sung miền giới hạn chân răng của bánh răng trong, đến năm 2011 [3] trên cơ sở đánh giá vận tốc trượt tương đối của cặp biên dạng đối tiếp tại điểm ăn khớp, Kwon và cộng sự đã sử dụng giải thuật di truyền để tối ưu kích thước nhằm giảm thiểu hiện tượng mòn không đều của hai bánh răng. Bản chất là tìm đồng thời hai thông số: bán kính đường tròn đi qua tâm cung tròn đỉnh răng bánh răng trong  $R_1$  và bán kính đường tròn đỉnh răng bánh răng trong  $r_a$ , dựa trên phương pháp đánh giá ảnh hưởng của kích thước thiết kế đến hiện tượng trượt trượt biên dạng của Ivanović và Josifović (2006) [6] sao cho vận tốc

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 0913.530.121

Email: thai.nguyenhong@hust.edu.vn

trượt giữa hai biên dạng tại điểm ăn khớp là nhỏ nhất. Ngoài ra, cũng có một hướng nghiên cứu khác đó là sử dụng thuật toán tìm giá trị nhỏ nhất của đường cong trượt giữa hai biên dạng cho tất cả các bộ số liệu thiết kế thỏa mãn lưu lượng cho trước của bơm để lựa chọn được bộ thông số  $(R_1, r_{c1})$  [7, 8]. Tuy nhiên, trong quá trình nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của từng thông số thiết kế đến hiện tượng trượt biên dạng [9], nhóm tác giả đã chỉ ra rằng khi thay đổi thông số  $r_{c1}$  sẽ làm ảnh hưởng rất lớn đến hiện tượng trượt biên dạng, còn thông số  $R_1$  ảnh hưởng không đáng kể. Dần dần, bài toán đặt ra là nếu như tìm được mối quan hệ giữa  $R_1$  và  $r_{c1}$ , thì bài toán tối ưu theo điều kiện mòn đều sẽ được đưa về bài toán tìm cực trị của hàm một biến đơn giản hơn rất nhiều so với giải thuật tối ưu của Kwon và cộng sự (2011) khi xét đồng thời cho cả hai biên  $R_1$  và  $r_{c1}$ . Việc tìm mối quan hệ giữa  $R_1$  và  $r_{c1}$  chính là nội dung nghiên cứu của bài báo này.

**2. Xác định bán kính đỉnh răng bánh răng trong  $r_{c1}$  theo điều kiện mòn đều**

**2.1. Phương trình xác định hệ số trượt biên dạng**

Nếu gọi:  $\xi_1(\gamma)$ ,  $\xi_2(\gamma)$  lần lượt là hệ số trượt biên dạng tại điểm ăn khớp K giữa cặp biên dạng răng đối tiếp thứ j bất kỳ của bánh răng trong với biên dạng răng đối tiếp của bánh răng ngoài, theo [9] ta có:

$$\begin{cases} \xi_1(\gamma) = 1 - i_{21} \frac{r_{K_2}(\gamma) \cos[\beta_2(\gamma)]}{r_{K_1}(\gamma) \cos[\beta_1(\gamma)]} \\ \xi_2(\gamma) = 1 - i_{12} \frac{r_{K_1}(\gamma) \cos[\beta_1(\gamma)]}{r_{K_2}(\gamma) \cos[\beta_2(\gamma)]} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó:

- +  $\gamma$  là góc quay của trục dẫn động.
- +  $i_{21}, i_{12}$ : là tỷ số truyền giữa bánh răng 1 và bánh răng 2, theo [10] thì tỷ số truyền này được cho bởi:  $i_{12} = z_2/z_1$  còn  $i_{21} = 1/i_{12}$  (với  $z_2 = z_1 + 1$ ).

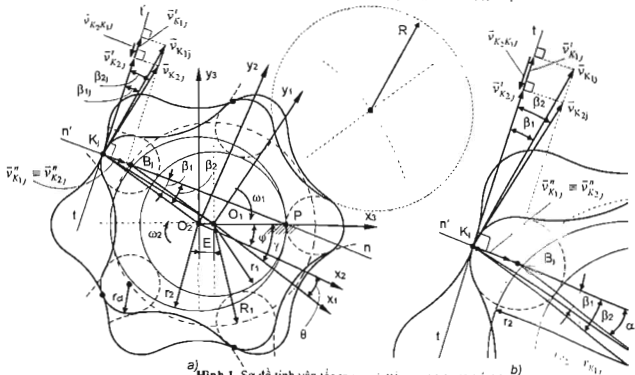
+  $\beta_1(\gamma), \beta_2(\gamma)$  xem trên Hình 1 và được cho bởi:

$$\cos \beta_i(\gamma) = \frac{[r_{K_i}(\gamma)]^2 + [PK(\gamma)]^2 - [Ez_i]^2}{2r_{K_i}(\gamma)PK(\gamma)} \quad (\text{với } i = 1, 2)$$

+  $r_{K_1}(\gamma) = O_1K(\gamma)$ ,  $r_{K_2}(\gamma) = O_2K(\gamma)$  và được cho bởi phương trình (13, 19) của tài liệu [11].

**2.2. Thiết lập điều kiện mòn đều**

Theo đặc điểm ăn khớp của cặp bánh răng hypôxycloít, bánh răng trong chỉ tham gia ăn khớp trên một phần cung tròn đỉnh răng. Do đó, đường cong trượt  $\xi_1(\gamma)$  luôn mang giá trị dương còn đường cong trượt  $\xi_2(\gamma)$  luôn mang giá trị âm [9], như vậy để hai biên dạng đối tiếp mòn đều trong quá trình ăn khớp thì  $|\xi_{1\max}(\gamma) + \xi_{2\min}(\gamma)|$  phải tiến tới 0.



Hình 1. Sơ đồ tính vận tốc trượt tại điểm ăn khớp  $K_j$  bất kỳ

2.2.1 Xác định giá trị cực trị của đường cong trượt

Do hệ số trượt  $\xi_1(\gamma)$  và  $\xi_2(\gamma)$  là hàm vị trí của điểm ăn khớp K theo góc quay của trục dẫn động  $\gamma$ . Vì vậy, ta cần xác định vị trí góc quay  $\gamma$  của trục dẫn động mà tại đó hàm  $\xi_1(\gamma)$  và  $\xi_2(\gamma)$  đạt cực trị. Thật vậy, ta có:

$$\begin{cases} \frac{d\xi_1(\gamma)}{d\gamma} = 0 \\ \frac{d\xi_2(\gamma)}{d\gamma} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Thay (1) vào (2) và biến đổi ta được:

$$\sin \gamma = 0 \quad (3)$$

Như vậy, trong một vòng quay của trục dẫn động, đường cong trượt sẽ đạt giá trị cực trị tại  $\gamma = 0$  và  $\gamma = \pi$ , thay các giá trị này vào phương trình (1) sau một số phép biến đổi ta tìm được:

$$\xi_{1\max} = \xi_1(\pi) = 1 - \left(\frac{z_1 + 1}{z_1}\right) \left(\frac{R_1 + r_{ct} - E}{R_1 + r_{ct}}\right) \quad (4)$$

$$\xi_{2\max} = \xi_2(\pi) = 1 - \left(\frac{z_1}{z_1 + 1}\right) \left(\frac{R_1 + r_{ct}}{R_1 + r_{ct} - E}\right) \quad (5)$$

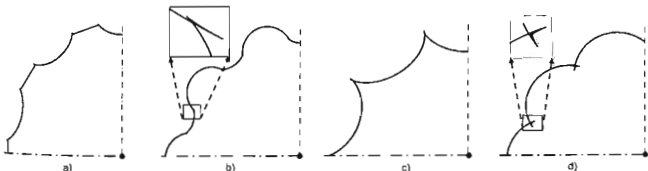
2.2.2 Thiết lập điều kiện mòn đều

Nếu gọi  $F(\xi_1, \xi_2)$  là hàm đánh giá của hiện tượng trượt biến dạng đến mòn đều của hai bánh răng thì giá trị cực trị của hai đường cong trượt ( $\xi_1, \xi_2$ ) khi đó phải thỏa mãn:

$$F(\xi_1, \xi_2) = |\xi_{1\max} + \xi_{2\min}| \quad (6)$$

Thay (4, 5) vào (6), sau đó đặt  $a = \frac{z_1 + 1}{z_1} (a > 1)$  và

$t = R_1 + r_{ct}$ , thì phương trình (6) được viết dưới dạng:



Hình 2. Các hiện tượng xảy ra trên biến dạng của bánh răng hypoxyclôit

$$F(\xi_1, \xi_2) = F(t) = \left| 2 - a - \frac{1}{a} - \frac{aE}{t - E} + \frac{E}{a} \right| \quad (7)$$

Nhận xét: từ phương trình (7) cho thấy việc đánh giá hiện tượng trượt biến dạng của cặp bánh răng hypoxyclôit vô cùng phức tạp đã được đưa về hàm  $F(t)$  theo một biến  $t$ .

Như vậy, để tìm cực trị của hàm  $F(t)$  ta tiến hành khảo sát hàm số này sao cho  $F(t)$  tiến dần về giá trị 0. Như vậy, ta có:

$$F'(t) = \frac{-aE}{t^2} - \left(\frac{1}{a(t - E)}\right) + \left(\frac{t}{a(t - E)}\right) = 0 \quad (8)$$

Mặt khác, theo [11] để đảm bảo điều kiện hình thành biến dạng răng không bị giao thoa cạnh răng, nhọn đỉnh răng, cắt chân răng được mô tả như trên Hình 2 thì  $R_1$  và  $r_{ct}$  phải thỏa mãn:

$$\begin{cases} Ez_1 \leq R_1 \leq \frac{Ez_1(2z_1 + 1)}{z_1 + 2} \\ 0 \leq r_{ct} \leq \left(\frac{3}{z_1 - 1}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{(R_1^2 - E^2 z_1^2)(z_1 + 1)} \end{cases} \quad (9)$$

Do đó, biến  $t$  luôn khác 0 và  $E$  sau khi giải phương trình (8) ta có nghiệm:

$$\begin{cases} t_1 = \frac{aE}{a - 1} \\ t_2 = \frac{aE}{a + 1} \end{cases} \quad (10)$$

Cũng từ bất phương trình (9) ta có  $R_1 \geq Ez_1$  do đó mà khoảng xét dấu của hàm  $F(\xi_1, \xi_2)$  theo biến  $t$  để tìm cực trị chỉ xét trong khoảng  $[E, +\infty)$ .

**Bảng 1.** bảng xét dấu đối với hàm  $F(t)$

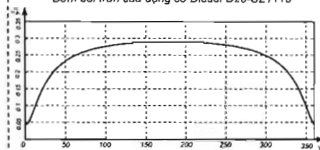
$t$	$E$	$\frac{aE}{a-1}$	$+\infty$
$F'(t)$	+	0	-
$F(t)$	$+\infty$	A	$+\infty$

Với: 
$$A = 1 - \frac{E}{(a-1)\left(\frac{aE}{a-1} - E\right)}$$

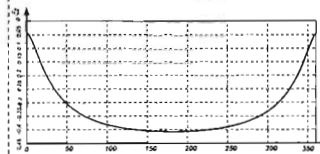
Ngoài ra, như đã trình bày ở phần đặt vấn đề từ kết quả nghiên cứu ở tài liệu [9] đã chỉ ra thông số  $r_{cl}$  ảnh

hưởng rất lớn đến hiện tượng trượt còn thông số  $R_l$  ảnh hưởng không đáng kể. Do đó, với một bộ số liệu cho trước để đảm bảo điều kiện mòn đều, ta chỉ cần tiến hành hiệu chỉnh thông số bán kính đỉnh răng bánh răng trong  $r_{cl}$  tại giá trị cực trị của hàm  $F(t)$  theo bảng xét dấu ở trên. Để rõ hơn về vấn đề này, ta tiến hành áp dụng vào việc tính toán hiệu chỉnh trong hai trường hợp cụ thể, đó là bơm bôi trơn của động cơ Diesel D20 - ZS1110 và bơm bôi trơn trong động cơ xe ô tô Hyundai-Tucson 2.0 ở mục 2.3 dưới đây.

*Bơm bôi trơn của động cơ Diesel D20-SZ1110*

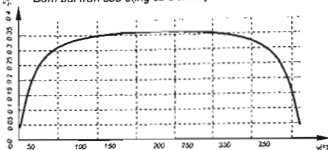


a) Đường cong trượt của phần đỉnh răng bánh răng 1 so với biên dạng bánh răng 2

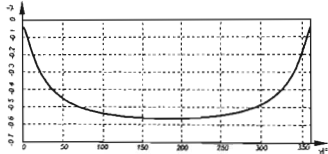


b) Đường cong trượt của biên dạng răng bánh răng 2 so với biên dạng phần đỉnh răng bánh răng 1

*Bơm bôi trơn của động cơ ô tô Hyundai - Tucson 2.0*

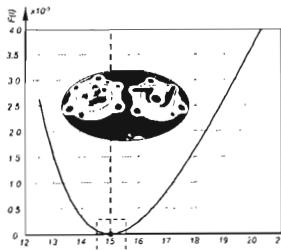


a) Đường cong trượt của phần đỉnh răng bánh răng 1 so với biên dạng bánh răng 2

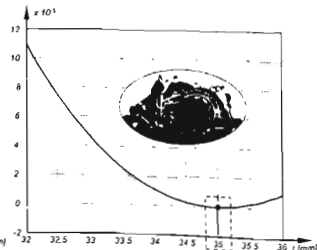


b) Đường cong trượt của biên dạng răng bánh răng 2 so với biên dạng phần đỉnh răng bánh răng 1

**Hình 3.** Đường cong trượt trước khi hiệu chỉnh bán kính đỉnh răng  $r_{cl}$



a) Bơm bôi trơn của động cơ Diesel D20 - SZ1110



a) Bơm bôi trơn của động cơ ô tô Hyundai - Tucson 2.0

**Hình 4.** Giá trị cực trị của hàm  $F(t)$

2.3. Ví dụ áp dụng

Đầu tiên ta hãy khảo sát đường cong trượt biên dạng của bánh răng trong so với bánh răng ngoài theo bộ thông số đã thiết kế và chế tạo của bơm bôi trơn được cho ở Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Thông số thiết kế cặp bánh răng

Bơm bôi trơn của động cơ	$z_1$	$E$	$R_f$	$r_{c1}$
		[mm]	[mm]	[mm]
Diesel D20 - SZ1110 [7]	4	3	12,5	2,4
Huyndai - Tucson 2.0 [8]	9	3,5	32	3,5

Thay các thông số thiết kế này vào phương trình (1) ta có đồ thị Hình 3 là đường cong trượt biên dạng  $\xi_1$  và  $\xi_2$  của hai bơm bôi trơn cho trong Bảng 2. Cũng từ Hình 3 ta dễ dàng nhận thấy  $|\xi_{1max}| \neq |\xi_{2min}|$  điều đó cho thấy hai cặp bánh răng theo thiết kế này sẽ bị mòn không đều.

Như vậy, để đảm bảo điều kiện hai bánh mòn đều ta cần tiến hành hiệu chỉnh bán kính đỉnh răng bánh răng trong  $r_{c1}$ . Thật vậy, từ bộ thông số thiết kế cho trong Bảng 2 ta thấy giá trị cực tiểu của hàm  $F(t)$  bằng 0 tại  $t = 15$  mm đối với bơm bôi trơn của động cơ Diesel D20 - SZ1110 và  $t = 35$  mm đối với bơm bôi trơn của động cơ ô tô Huyndai - Tucson 2.0 (xem trên Hình 4). Từ điểm cực trị này xác định được giá trị  $r_{c1}$  sau khi hiệu chỉnh theo điều kiện mòn đều của hai biên dạng đối tiếp, thông số thiết kế đặc trưng của cặp bánh răng được cho trong Bảng 3.

Bảng 3 Giá trị  $r_{c1}$  sau khi hiệu chỉnh để hai bánh răng mòn đều.

Bơm bôi trơn của động cơ	$R_f$ [mm]	$r_{c1}$ [mm]
Diesel D20 - SZ1110	12,5	2,5
Huyndai - Tucson 2.0	32	3,0

Từ đồ thị khảo sát ở Hình 4 và kết quả hiệu chỉnh ở bảng 3 ta dễ dàng nhận thấy  $|\xi_{1max}| = |\xi_{2min}|$  hay nói cách khác hàm  $F(\xi_1, \xi_2) = F(t) = 0$ , điều đó có nghĩa hai bánh răng sẽ mòn đều trong quá trình ăn khớp khi bơm làm việc.

3. Kết luận

Từ Bảng 1 khảo sát hàm đánh giá hiện tượng trượt biên dạng  $F(t)$  và đồ thị Hình 4 dễ dàng xác định được công thức xác thông số  $r_{c1}$  (bán kính đỉnh răng bánh răng trong) để đảm bảo điều kiện mòn đều đó là

$$r_{c1} = \frac{aE}{a-1} - R_f. \text{ Kết quả này có ý nghĩa quan trọng}$$

trong việc thiết kế các loại bơm thủy lực thể tích Hypogeteroto thỏa mãn điều kiện hai bánh răng mòn

đều. Đây là một trong những điều kiện nhằm tăng tuổi thọ của bơm và cũng là một điểm mới của bài báo mà chưa công bố nào đề cập đến. Ngoài ra, đây còn là điều kiện biên khi tối ưu hóa thiết kế bơm Hypogeteroto theo điều kiện mòn đều của cặp bánh răng ăn khớp trong hypoxycloít hình thành bơm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Giáo dục và Đào tạo, Mã số: B2016-BKA-21.

Tài liệu tham khảo

- [1] Emma Frosina, Adolfo Senatore, Dario Buono, A Tridimensional CFD Analysis of the Oil Pump of an High Performance Motorbike Engine. Energy Procedia, 45 (2014) 938 – 948.
- [2] T.K Garrett, K. Newton, W. Steeds, The Motor Vehicle. Butterworth-Heinemann, Thirteenth edition (2001).
- [3] Kwon Soon-man, Kim Chang-Hyun, Shin Joong-ho, Optimal rotor wear design in hypotrochoidal gear pump using genetic algorithm, J. Cent. South Univ. Technol. (2011) 718–725, DOI: 10.1007/s11771-011-0753-z
- [4] Y.-W. Hwang and C.-F. Hsieh, Geometry design using hypotrochoid and nonundercutting conditions for an internal cycloidal gear, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design 129 (2007) 413-420.
- [5] Kwoon Soon-man, Kim Chang-Hyun, Shin Joong-ho, Rotor profile design in a hypogenerator pump, Journal of Mechanical Science and Technology 23 (2009) 3459-3470, 10.1007/s12206-009-1007-y.
- [6] Lozica Ivanović, Danica Josifović, Specific Sliding of Trochoidal Gearing Profile in the Gerotor Pumps, FME Transactions (2006) 34, 121-127
- [7] Nguyễn Hồng Thái, Trần Hoài Nam, Thiết kế cặp bánh răng ăn khớp trong hypoxycloít thay thế cho cặp bánh răng epixycloít của bơm bôi trơn động cơ đốt trong, Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí - Động lực (2016) 363 – 372.
- [8] Nguyễn Hồng Thái, Trương An Duy, Thiết kế chế tạo bơm hy pô ge rô t o trong hệ thống bôi trơn của động cơ ô tô Huyndai - Tucson 2.0, Hội nghị Khoa học toàn quốc lần thứ 2 về Cơ kỹ thuật và tự động hóa (2016), 489 – 493.
- [9] Nguyen Hong Thai, Trương Cong Giang, The influence of the design parameter on the profile sliding in an internal hypocycloid gear pair, VietNam Journal of Science and Technology 56 (4) (2018) 482-491.
- [10] Nguyễn Hồng Thái, Tính toán mô phỏng động học bộ truyền bánh răng hành tinh con lăn xycloít ứng dụng trong robot công nghiệp và các thiết bị điều khiển số, Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ 8 (2012) 184-192
- [11] Trương Công Giang, Nguyễn Hồng Thái, Ảnh hưởng của các thông số kích thước hình học đến đường ăn khớp và lưu lượng của bơm thủy lực thể tích bánh răng ăn khớp trong hypoxycloít. Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Đà Nẵng (2015) 280 - 289.