

## Thuật toán xác định bán kính chân răng bánh răng trong của bơm hypôgerôto khi biết trước lưu lượng và tốc độ quay

Computation of the Root Dedendum of the Internal Gear in a Hypogeroator Pump with Prescribed Flow Rate and Rotational Speed

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

<sup>1</sup>Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội, Việt Nam

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

Đến Tòa soạn: 21-5-2018; chấp nhận đăng: 20-3-2019

### Tóm tắt

Trong quá trình thiết kế bơm thủy lực thể tích bánh răng ăn khớp trong hypôgeroto theo lưu lượng cho trước, để tìm được bộ thông số thiết kế của bánh răng hypôxylôit thông thường sử dụng phương trình bảo toàn công thông qua một thuật toán lặp. Tuy nhiên, bánh răng biên dạng cung tròn ăn khớp tương ứng thì chưa xác định được bán kính chân răng. Bán kính này là một miền với vô số nghiệm trong một miền xác định. Để xác định nghiệm người thiết kế phải lần lượt thử với từng bán kính, tương ứng với mỗi lần thử sẽ đo lại diện tích các khoang bơm trên Autocad và so sánh với phương pháp bảo toàn công cho đến khi diện tích thực xấp xỉ với bảo toàn công để chọn nghiệm. Quá trình này lặp đi lặp lại một cách thủ công trong quá trình thiết kế dẫn đến thời gian thiết kế kéo dài và đôi khi độ chính xác không cao. Để khắc phục vấn đề này trong bài báo các tác giả đưa ra phương pháp thiết lập các biểu thức tính diện tích các khoang bơm, để từ đó tiến hành lập trình tạo ra mô đun phần mềm tính toán tự động và so sánh với kết quả của phương pháp bảo toàn công nhằm đưa ra nghiệm chính xác nhất. Ngoài ra, phương pháp này cũng chỉ ra được một cách chính xác lượng chất lỏng dư thừa dẫn đến hóa cứng trục hoặc thiếu hụt so với lưu lượng lý thuyết của mỗi khoang bơm từ khi thiết kế.

Từ khóa: bánh răng xylôit, bánh răng hypôxylôit, bơm gerotor, bơm hypôgerotor.

### Abstract

While designing hydraulic hypogeroator pumps with internal matched gears based on the given flow, in order to find the set of parameters of the hypocycloidal gears, the equation of work conservation and iterative algorithm are usually used. However, it is still impossible to calculate the dedendum radius of the matching gear with circular profile, which belongs to the specified region (with infinite number of root/solution). To find the solution, the designer need to try in turn with each value of the radius, to measure the areas of the pump chambers using Autocad for each turn, and to compare those values with the areas determined by the work conservation method. This repeating process makes the whole designing work more time-consuming, and also brings a lot of errors. To overcome this problem, in this paper, the authors present the method of establishing formulas for calculation the pump-chamber areas, also programming a software module for automatic calculating and comparing solutions with those achieved by the work conservation method in order to gain the optimal solution. Moreover, this method helps to accurately assess the redundant amount of liquid (which can lead to hardening the shafts), or the shortage of flaw in each pump chamber when designing the hypogeroator pumps.

Keywords: epicycloidal gears, hypocycloidal gears, gerotor pumps, hypogeroator pumps.

### 1. Đặt vấn đề

Sự biến đổi thể tích trong các khoang bơm theo thời gian thực đối với bơm thủy lực thể tích bánh răng là một yếu tố quan trọng. Chính vì sự biến đổi này đã tạo ra áp suất hút ở cửa vào và áp suất đẩy ở cửa ra trong quá trình bơm hoạt động [1]. Khác với bơm bánh răng thân khai thông thường, bơm bánh răng thủy lực thể tích ăn khớp trong hypôxylôit (mô

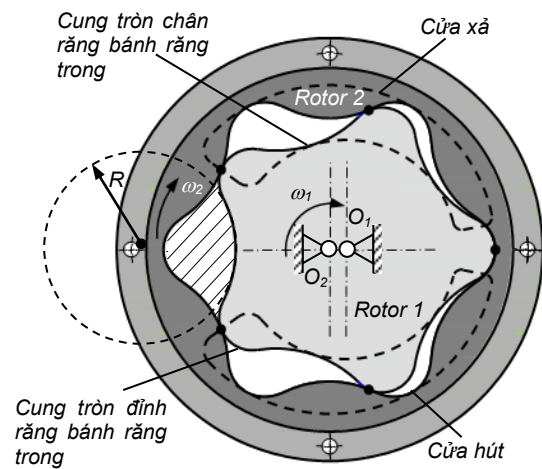
tả trên hình 1) có biên dạng phức tạp hơn. Do đó, khó khăn trong việc xác định diện tích tiết diện mặt cắt, các khoang bơm trên mặt phẳng vuông góc với trục bơm để tính lưu lượng riêng lý thuyết. Để giải quyết vấn đề này trong tài liệu [2] đã đưa ra giải pháp xấp xỉ bằng cách chia lưới phần diện tích mặt cắt này thành các ô vuông để xác định lưu lượng riêng của bơm khi tự động hóa thiết kế bằng phần mềm máy tính. Mặt khác, như trong tài liệu [3] các tác giả cũng đã chỉ ra rằng đối với bơm hypôgerôto phần bán kính chân răng R của bánh răng trong không tham gia quá

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 913.530.121

Email: thai.nguyenhong@hust.edu.vn

trình ăn khớp (xem trên hình 1). Do đó, khi thay đổi bán kính này thì có các khả năng sau:

Khi bán kính  $R$  nhỏ hơn bán kính tới hạn  $[R]$  thể tích khoang bơm tăng lên so với lý thuyết thiết kế. Nhưng lưu lượng của bơm lại không đổi, do một phần thể tích là hằng số không biến thiên để tạo áp lực đẩy, đẩy phần chất lỏng trong khoang đẩy ra khỏi bơm trong một chu kỳ làm việc. Dẫn đến sau mỗi vòng quay của trục dẫn động, lượng chất lỏng điền đầy thể tích này không được đẩy sang hết cửa xả mà lưu lại trong bơm tạo ra sự chèn ép của chất lỏng ở áp suất cao giữa phần đỉnh răng của bánh răng trong và chân răng của bánh răng ngoài, gây ra tải trọng phụ đối đầu làm ảnh hưởng đến độ bền của bánh răng và ổ trục, ngoài ra còn gây hiện tượng xâm thực và dầu bị biến chất.



Hình 1. Bơm hypôgeroto

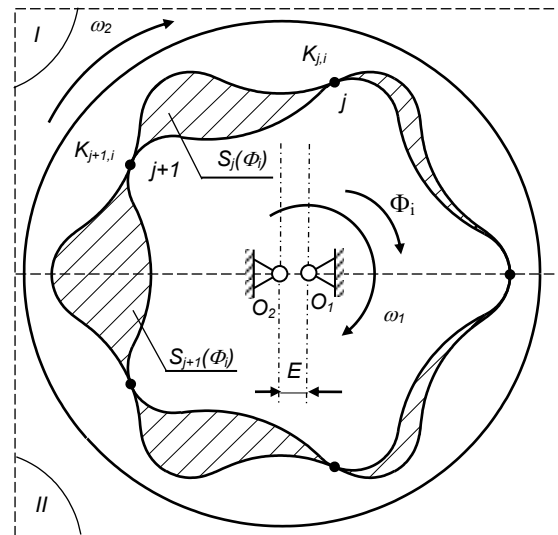
Khi bán kính  $R$  lớn hơn bán kính tới hạn  $[R]$  thể tích thực của khoang bơm giảm đi so với lý thuyết thiết kế, dẫn đến ngay từ khâu thiết kế đã không đáp ứng được yêu cầu. Đôi khi còn bị chèn chân răng gây ra hiện tượng kẹt răng khi phần chân răng của bánh răng trong va chạm với đỉnh răng của bánh răng ngoài.

Như vậy, phương pháp được đề xuất ở tài liệu [2] như đã nói ở trên hay tính lưu lượng bơm theo lý thuyết thiết kế ở một số ít tài liệu nghiên cứu đúng loại bơm này [4, 5] sẽ dẫn đến kết quả là chưa hoàn toàn chính xác. Để xác định thông số  $R$  trong tài liệu [3] nhóm tác giả đã sử dụng giải pháp đo diện tích trên CAD thông qua ngôn ngữ Autolisp và lập đi, lập lại cho đến khi lưu lượng thiết kế đạt đến lưu lượng lý thuyết [7], tuy nhiên phương pháp này khá thủ công và mất quá nhiều thời gian để thiết kế cũng như không xác định được quá trình biến đổi thể tích trong một chu kỳ làm việc. Để khắc phục nhược điểm trên bài báo này trình bày phương pháp thiết lập biểu thức giải tích tính diện tích tiết diện của một khoang bất kỳ trên mặt cắt ngang của trục dẫn động được trình bày

trong mục 2 của bài báo, trên cơ sở đó đưa ra thuật toán tìm  $R$  được trình bày ở mục 3 của bài báo.

## 2. Thiết lập biểu thức giải tích xác định diện tích tiết diện khoang bơm theo góc quay của trục dẫn động

Theo đặc điểm ăn khớp của cặp bánh răng hypôxycloit trong quá trình ăn khớp, các cặp biên dạng đối tiếp của hai bánh răng luôn tiếp xúc với nhau tại các điểm ăn khớp  $K_j$  (với  $j$  là điểm tiếp xúc thuộc răng thứ  $j$  của bánh răng trong) tạo thành các khoang bơm (phần gạch mặt cắt được mô tả trên hình 2). Khi bánh răng 1 (bánh răng chủ động có biên dạng là các cung tròn) được dẫn động với vận tốc góc  $\omega_1$  làm bánh răng 2 (bánh răng hypôxycloit) quay cùng chiều với vận tốc góc  $\omega_2$ . Khi đó, với chiều quay của  $\omega_1$  trên hình 2 ta có các khoang bơm ở phần I (quá trình đẩy) có diện tích giảm dần, còn các khoang bơm ở phần II (quá trình hút) diện tích các khoang bơm có xu hướng tăng dần.



Hình 2. Tiết diện mặt cắt của bơm theo phương vuông góc với trục của bơm

Như vậy, nếu gọi  $K_{j,i}$ ,  $K_{j+1,i}$  lần lượt là hai điểm ăn khớp liên tiếp của răng thứ  $j$  và  $j+1$  trên bánh răng trong đang ăn khớp với bánh răng ngoài hypôxycloit tại thời điểm mà bánh răng chủ động (bánh răng trong) quay với góc  $\Phi_i$  bất kỳ. Khi đó, miền diện tích thực  $S_{Tj}(\Phi_i)$  sẽ là diện tích của khoang bơm thứ  $j$  (khoang bơm được giới hạn bởi biên dạng của bánh răng trong, bánh răng ngoài tại hai điểm ăn khớp  $K_{j,i}$ ,  $K_{j+1,i}$  và được cho bởi:

$$S_{Tj}(\Phi_i) = S_{2j}(\Phi_i) - S_{1j}(\Phi_i) \quad (1)$$

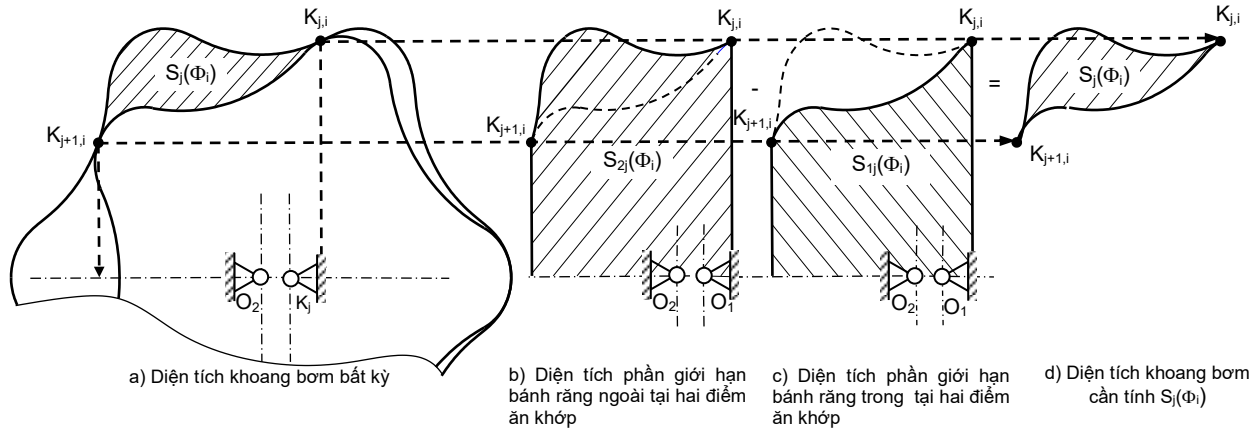
Trong đó:

+  $S_{2j}(\Phi_i)$  là miền diện tích trên mặt cắt vuông góc với trục bơm được giới hạn bởi đường cong

hypôxycloít tại hai điểm  $K_{j,i}$ ,  $K_{j+1,i}$  (hình 3b) và được tính trong mục 2.1 dưới đây.

+  $S_{1j}(\Phi_i)$  là miền diện tích trên mặt cắt vuông góc với trục bơm được giới hạn bởi hai cung tròn

hình thành biên dạng bánh răng trong, tại hai điểm ăn khớp  $K_{j,i}$  và  $K_{j+1,i}$  (hình 3c) và được tính trong mục 2.3 dưới đây.



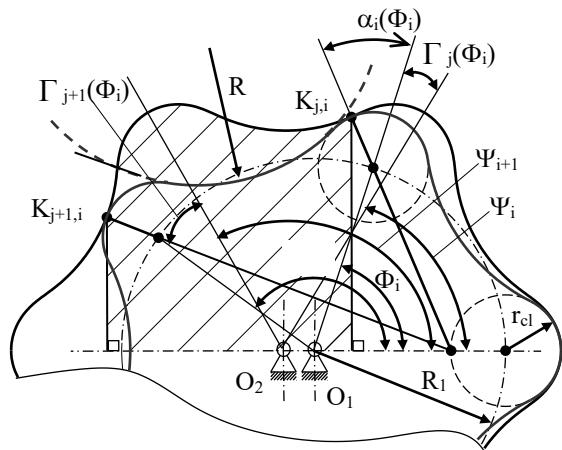
Hình 3. Sơ đồ mô tả cách tính miền diện tích  $S_j(\Phi_i)$

2.1. Diện tích  $S_{2j}(\Phi_i)$

Tại thời điểm  $i$  bất kỳ khi bánh răng trong quay với vận tốc góc  $\omega_1$  tương ứng với quay góc  $\Phi_i$  được mô tả trên hình 4.

Khi đó, cung cong của bánh răng ngoài  $K_j K_{j+1}$  quay

đi một góc  $\Gamma(\Phi_i) = \frac{z_1}{z_1+1} \Phi_i$ .



Hình 4. Sơ đồ tính diện miền diện tích  $S_j(\Phi_i)$  bất kỳ

Như vậy, tại thời điểm này phương trình biên dạng bánh răng ngoài sau khi quay một góc  $\Gamma(\Phi_i)$  so với giá cố định, và được cho bởi:

$$r_h(\Phi_i) = \underline{R}(z, \Gamma(\Phi_i))r_{bd} \quad (2)$$

Trong đó:

$$\underline{R}(z, \Gamma(\Phi_i)) = \begin{bmatrix} \cos \Gamma(\Phi_i) & -\sin \Gamma(\Phi_i) \\ \sin \Gamma(\Phi_i) & \cos \Gamma(\Phi_i) \end{bmatrix}$$

$r_{bd}$ : là tọa độ của biên dạng gốc được cho bởi phương trình (5) mà nhóm tác giả đã trình bày trong tài liệu [6].

Từ phương trình (2) ta có miền diện tích tiết diện giới hạn bởi đường cong hypôxycloít mô tả trên hình 3b được cho bởi:

$$S_{2j}(\Phi_i) = \int_{\Gamma_j(\Phi_i)}^{\Gamma_{j+1}(\Phi_i)} x_{r_h}(\Phi_i) \frac{y_{r_h(\tau_i)}(\Phi_i)}{\partial \Phi_i} d\Phi_i \quad (3)$$

Trong đó:  $\Gamma_j(\Phi_i)$ ,  $\Gamma_{j+1}(\Phi_i)$  là góc quay tương đối giữa hai bánh răng (bánh răng trong và bánh răng ngoài) được mô tả trên hình 4 và được cho bởi:

$$\begin{cases} \Gamma_j(\Phi_i) = \frac{\Phi_i}{z_1+1} \\ \Gamma_{j+1}(\Phi_i) = \frac{z_1 \Phi_i + 2\pi}{z_1(z_1+1)} \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Diện tích  $S_{1j}(\Phi_i)$

Theo tài liệu [1, 6] biên dạng bánh răng trong được kết hợp từ hai cung tròn (cung tròn đỉnh răng và cung tròn chân răng mô tả trên hình 1). Trong đó,

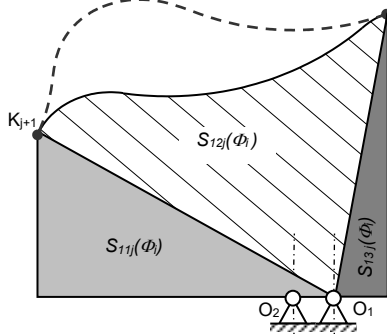
cung tròn đỉnh răng có bán kính  $r_{cl}$ , cung tròn chân răng có bán kính  $R$  ( $R$  bán kính cung tròn tiếp xúc với hai cung tròn đỉnh răng liên tiếp) và được mô tả ở hình 4. Vì vậy, miền diện tích  $S_{1j}(\Phi_i)$  (hình 3a) được cho bởi:

$$S_{1j}(\Phi_i) = S_{11j}(\Phi_i) + S_{12j}(\Phi_i) + S_{13j}(\Phi_i) \quad (5)$$

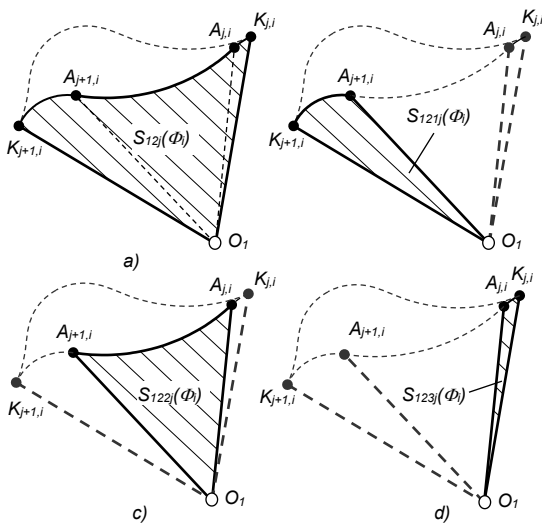
Trong đó: diện tích của các miền  $S_{11j}(\Phi_i)$ ,  $S_{12j}(\Phi_i)$ ,  $S_{13j}(\Phi_i)$  phần diện tích được mô tả trên hình 5 và được tính:

i) Diện tích  $S_{11j}(\Phi_i)$ ,  $S_{13j}(\Phi_i)$

$$S_{11j}(\Phi_i) = \frac{1}{2} x_{K_{j+1,i}}(\Phi_i) y_{K_{j+1,i}}(\Phi_i) \quad (6)$$



Hình 5. Sơ đồ tính  $S_{1j}(\Phi_i)$



Hình 6. Diện tích thành phần của  $S_{12j}(\Phi_i)$

$$S_{13j}(\Phi_i) = \frac{1}{2} x_{K_{j,i}}(\Phi_i) y_{K_{j,i}}(\Phi_i) \quad (7)$$

Trong đó:  $x_{K_{j,i}}(\Phi_i)$ ,  $y_{K_{j,i}}(\Phi_i)$ ,  $x_{K_{j+1,i}}(\Phi_i)$ ,

$y_{K_{j+1,i}}(\Phi_i)$  lần lượt là tọa độ điểm ăn khớp  $K_{j,i}$  và

$K_{j+1,i}$  được cho bởi phương trình (7) mà nhóm tác giả đã trình bày trong tài liệu [7].

ii) Diện tích  $S_{12j}(\Phi_i)$

Miền diện tích  $S_{12j}(\Phi_i)$  (hình 6a) là miền diện tích được giới hạn bởi biên dạng bánh răng trong tại hai điểm ăn khớp  $K_{j,i}$ ,  $K_{j+1,i}$ , cung này bao gồm 2 cung tròn (cung tròn đỉnh răng và cung tròn chân răng).

Khi đó, diện tích của  $S_{12j}(\Phi_i)$  là tổng của các miền diện tích thành phần  $S_{121j}(\Phi_i)$ ,  $S_{122j}(\Phi_i)$ ,  $S_{123j}(\Phi_i)$  (hình 6b, 6c, 6d) và được cho bởi:

$$S_{12j}(\Phi_i) = S_{121j}(\Phi_i) + S_{122j}(\Phi_i) + S_{123j}(\Phi_i) \quad (8)$$

Trong đó: diện tích của các miền  $S_{121j}(\Phi_i)$ ,  $S_{122j}(\Phi_i)$ ,  $S_{123j}(\Phi_i)$  được xác định dưới đây.

Diện tích  $S_{123j}(\Phi_i)$

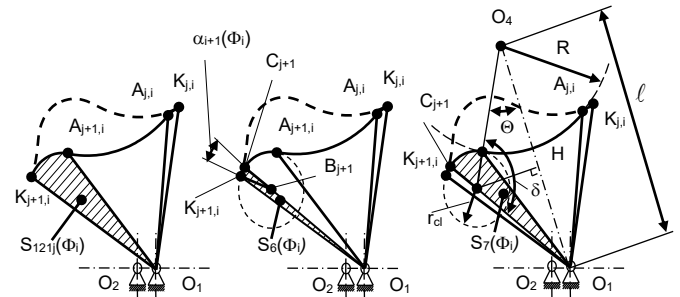
Miền diện tích  $S_{123j}(\Phi_i)$  được cho bởi:

$$S_{123j}(\Phi_i) = \frac{1}{2} r_{cl} R_1 [\sin \delta - \sin \alpha_i(\Phi_i)] - \frac{1}{2} r_{cl}^2 [\pi - \delta - \alpha_i(\Phi_i)] \quad (9)$$

Trong đó: các thông  $\delta_i$ ,  $\ell$  không phụ thuộc vào góc quay của trục dẫn động  $\Phi_i$  ( $\delta = const$ ;  $\ell = const$ ) và có giá trị:

$$\delta = \cos^{-1} \left( \frac{R_1^2 + (R + r_{cl})^2 - \ell^2}{2R_1(R + r_{cl})} \right) \quad (10)$$

$$\ell = R_1 \cos \left( \frac{\pi}{z_1} \right) + \sqrt{(R + r_{cl})^2 - \left( R_1 \sin \left( \frac{\pi}{z_1} \right) \right)^2} \quad (11)$$



a) Miền diện tích  $S_{121j}(\Phi_i)$  b) Diện tích  $^1S_{121j}(\Phi_i)$  c) Diện tích  $^2S_{121j}(\Phi_i)$

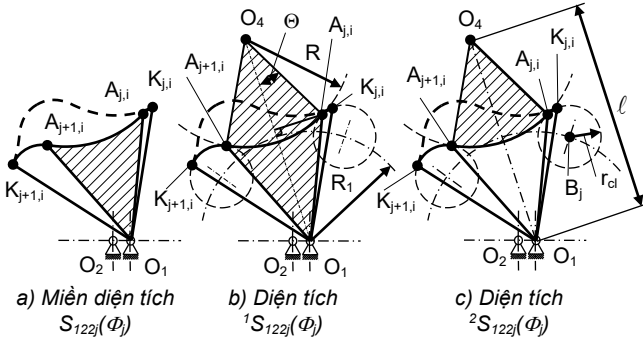
Hình 7. Sơ đồ tính miền diện tích  $S_{121j}(\Phi_i)$

Diện tích  $S_{121j}(\Phi_i)$

Miền diện tích  $S_{121j}(\Phi_i)$  (hình 7a) được giới hạn bởi cung tròn đỉnh răng tâm  $B_{j+1}$ , miền diện tích này bao gồm hai diện tích  $S_6(\Phi_i)$  (hình 7b),  $S_7(\Phi_i)$  (hình 7c) và được cho bởi:

$$S_{121j}(\Phi_i) = {}^1S_{121}(\Phi_i) + {}^2S_{121}(\Phi_i) \\ = \frac{1}{2} r_{cl} R_1 [\sin \delta + \sin \alpha_{i+1}(\Phi_i)] + \\ + r_{cl}^2 [\pi - \delta_i + \alpha_{i+1}(\Phi_i)] \quad (12)$$

Diện tích  $S_{122j}(\Phi_i)$



**Hình 8.** Sơ đồ mô tả các miền diện tích để xác định  $S_{122j}$

Miền diện tích  $S_{122j}$  được giới hạn bởi cung tròn chân răng bán kính  $R$  (hình 8a) và bằng hiệu của miền diện tích hình 8b trừ đi miền diện tích hình 8c, do đó:

$$S_{122j} = Rl \sin \Theta - R^2 \Theta \quad (13)$$

### 2.3 Ví dụ áp dụng

Xét bộ thông số hình thành cặp bánh răng hypôcyclôit thay thế cho cặp bánh răng epixyclôit trong hệ thống bôi trơn của động cơ D20(ZS1110) có các thông số:  $E = 3 \text{ mm}$ ;  $z_1 = 4 \text{ mm}$ ;  $R_1 = 12.5 \text{ mm}$ ;  $r_{cl} = 2.4 \text{ mm}$ ;  $R = 12 \text{ mm}$  ta có đồ thị biến thiên diện

tích thực (lý thuyết) của khoang bơm  $S_j$  theo góc quay của trục dẫn động được mô tả ở hình 9.

*Nhận xét:* từ đồ thị hình 9 ta dễ dàng nhận thấy với một khoang  $j$  bất kỳ quá trình hút (khoang bơm tăng dần thể tích) được bắt đầu diễn ra tại trí góc quay của trục dẫn động  $\Phi_i = 315^\circ$  đến khi  $\Phi_i = 135^\circ$ , còn quá trình xả (khoang bơm thu hẹp dần thể tích) diễn ra khi  $\Phi_i \in [135^\circ - 315^\circ]$ . Do đó, khi thiết kế cửa hút và cửa đẩy người thiết kế cần phải lưu ý đến quá trình này để bố trí cửa hút và cửa đẩy ngoài việc phải xác định gần tâm ăn khớp.

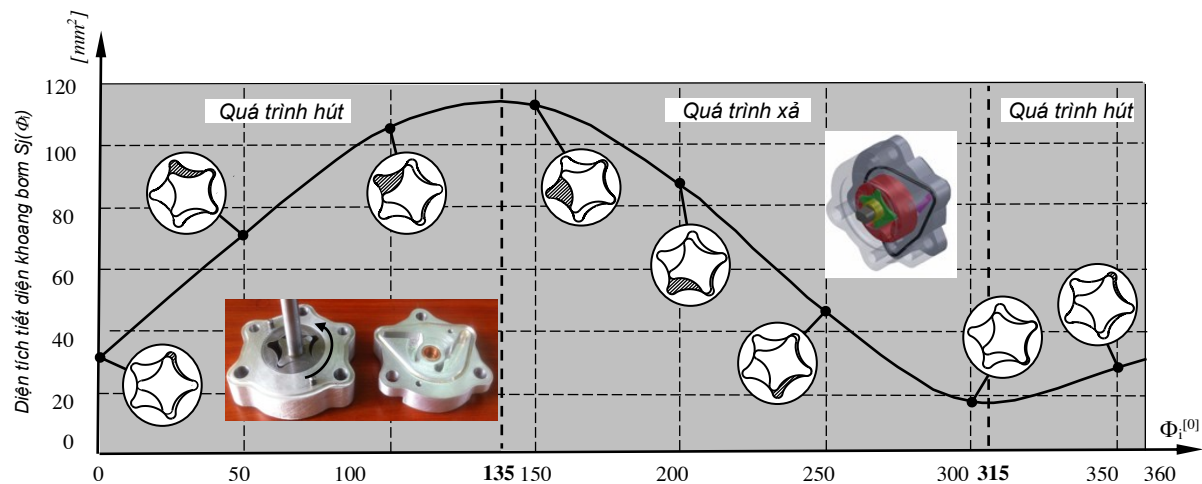
### 3. Thuật toán xác định bán kính chân răng bánh răng trong

#### 3.1. Diện tích khoang bơm tính theo phương pháp lý thuyết ăn khớp

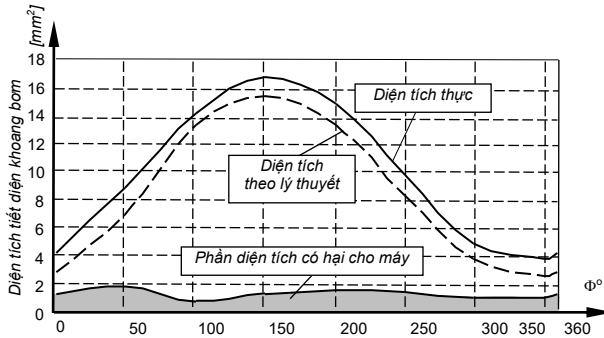
Theo tài liệu [3] mà nhóm tác giả đã trình bày thì sau khi biến đổi phương trình (7, 8) ta có diện tích tiết diện khoang bơm  $S_j$  trên mặt cắt vuông góc với trục bơm:

$$S_{LT}(\Phi_i) = \frac{\Phi_1}{2(z_1 + 1)} [\rho_{K_{j+1}}^2(\Phi_i) - \rho_{K_j}^2(\Phi_i)] \quad (13)$$

Với  $\rho_{K_j}(\Phi_i)$ ,  $\rho_{K_{j+1}}(\Phi_i)$  là khoảng cách từ điểm ăn khớp  $K_j$ ,  $K_{j+1}$  về tâm ăn khớp đã được nhóm tác giả trình bày trong tài liệu [3]. Để minh chứng cho hai nhận xét (i và ii) trong mục đặt vấn đề, bây giờ chúng ta hãy xét ba trường hợp cho cặp bánh răng hypôcyclôit dùng trong bơm bôi trơn của động cơ xe máy (hãng Honda) có dung tích 100CC với các thông số thiết kế biên dạng bánh răng ngoài:  $E = 1 \text{ mm}$ ;  $z_1 = 7 \text{ mm}$ ;  $R_1 = 7.5 \text{ mm}$ ;  $r_{cl} = 1.5 \text{ mm}$ .



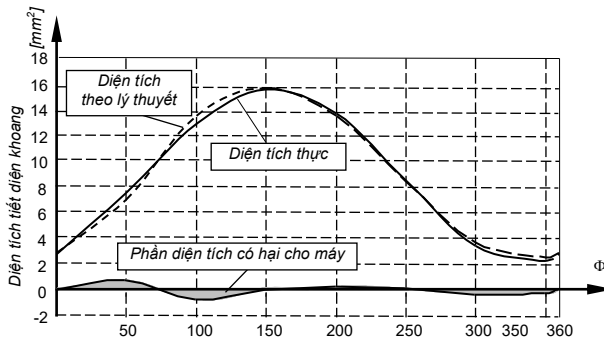
**Hình 9.** Biến thiên diện tích khoang bơm trong bơm Hypôgerôto trong hệ thống bôi trơn của động cơ Diesel D20 (ZS1110)



**Hình 10.** Biến thiên diện tích khoang bơm trong trường hợp  $R = 2 \text{ mm}$

*Trường hợp 1 (xem hình 10 và 13a):* bán kính chân răng bánh răng trong  $R = 2 \text{ mm}$ , đồ thị mô tả sự chênh lệch diện tích tiết diện khoang bơm được mô tả trên đồ thị hình 10. Từ hình 10 dễ nhận thấy rằng diện tích thực lớn hơn phần diện tích lý thuyết rất nhiều, phần tô màu phía dưới là phần chênh lệch tại từng thời điểm và giá trị lớn nhất xấp xỉ 13% đây sẽ là phần diện tích có hại cho máy.

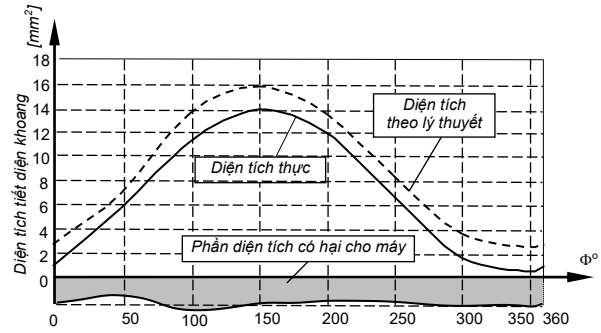
*Trường hợp 2 (xem hình 11 và 13b):*



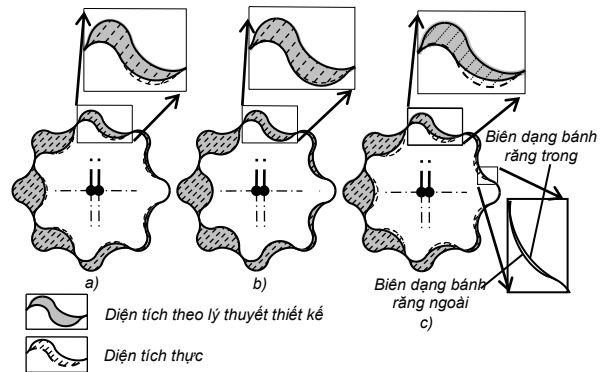
**Hình 11.** Biến thiên diện tích khoang bơm trong trường hợp  $R = 2.5 \text{ mm}$

Khi bán kính chân răng bánh răng trong  $R = 2.5 \text{ mm}$ , đồ thị mô tả sự chênh lệch diện tích tiết diện khoang bơm được mô tả trên đồ thị hình 11. Trong trường hợp này ta nhận thấy hai phần diện tích xấp xỉ nhau giá trị chênh lệch lớn nhất là 2.5%.

*Trường hợp 3 (xem hình 12 và 13c):* bán kính chân răng bánh răng trong  $R = 3.5 \text{ mm}$ , đồ thị mô tả sự chênh lệch diện tích tiết diện khoang bơm được mô tả trên đồ thị hình 12. Trong trường hợp này ta nhận thấy phần diện tích thực nhỏ hơn rất nhiều đây sẽ là phần diện tích gây ra hiện tượng giảm lưu lượng so với thiết kế, trong trường hợp này giá trị lớn nhất xấp xỉ 19% và khi đó xuất hiện sự va chạm giữa đỉnh răng bánh răng ngoài và chân răng bánh răng trong tại vị trí gần tâm ăn khớp (xem hình 13 c).



**Hình 12.** Biến thiên diện tích khoang bơm trong trường hợp  $R = 3.5 \text{ mm}$

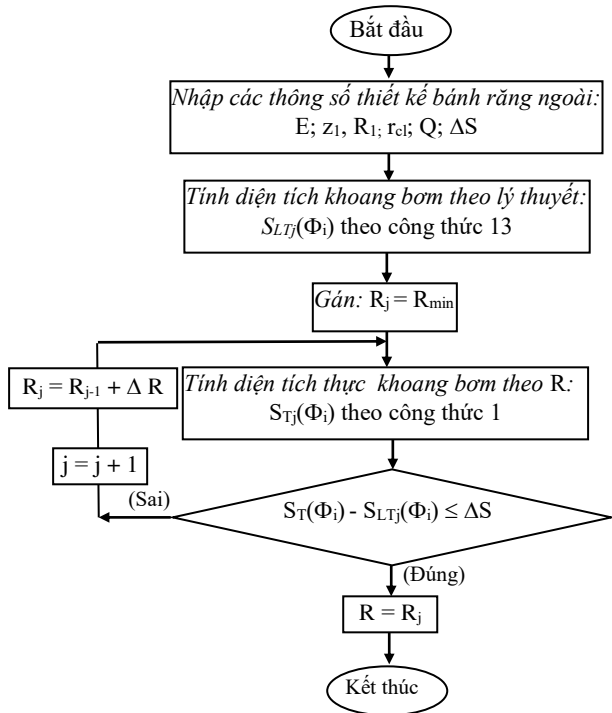


**Hình 13.** Cặp bánh răng trong ba trường hợp

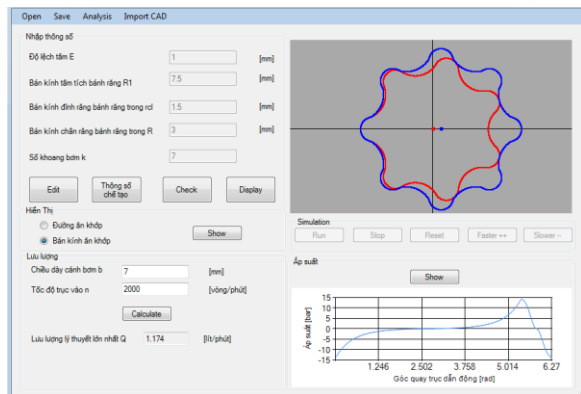
### 3.2. Thuật toán xác định bán kính chân răng của bánh răng trong

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở mục 2 và mục 3.1, hình 14 là sơ đồ thuật toán tính chọn  $R$  bán kính chân răng bánh răng trong. Trong đó  $R_{\min} = R_1 \sin(2\pi / z_1) - r_{cl}$  được tính từ điều kiện biên tài liệu [4]. Từ thuật toán này nhóm tác lập trình môđul phần mềm tính chọn  $R$  có giao diện cho trên hình 15. Bây giờ tính chọn bán kính  $R$  của bánh răng trong của bơm bôi trơn động cơ xe máy (hãng Honda) có dung tích 100CC với các thông số thiết kế đặc trưng biên dạng bánh răng ngoài:  $E = 1 \text{ mm}$ ;  $z_1 = 7$  mm;  $R_1 = 7.5 \text{ mm}$ ;  $r_{cl} = 1.5 \text{ mm}$ . Khi trục dẫn động bơm ở tốc độ 2000 vòng/phút có lưu lượng  $Q = 1.174 \text{ lít/phút}$ ; đặt  $\Delta S = 0.01 \text{ mm}^3$  ta xác định được  $R = 3 \text{ mm}$ .

*Nhận xét:* với thuật toán này cho phép xác định chính xác bán kính  $R$  của bánh răng trong để hình thành biên dạng bánh răng. Đây là cơ sở để tiến tới có thể tối ưu kích thước thiết kế bơm theo lưu lượng và tốc độ cho trước.



Hình 14. Sơ đồ thuật toán chọn R



Hình 15. Giao diện modul phần mềm tính chọn R

#### 4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu của bài báo này đã:

- Chứng minh rằng ứng với mỗi bộ thông số thiết kế biên dạng bánh răng ngoài thì chỉ tìm được duy nhất một bộ số liệu của bánh răng trong đáp ứng được lưu lượng của bơm. Việc thay đổi bán kính R làm tăng thể tích khoang bơm sẽ dẫn đến có hại cho máy hoặc

không đủ lưu lượng so với lý thuyết thiết kế như đã trình bày trong mục 3.1.

- Đưa ra cơ sở lý thuyết và thuật toán cho phép xây dựng phần mềm tối ưu hóa kích thước của bơm trong bài toán thiết kế ngược. Khi nhà thiết kế động cơ đã xác định được các thông số kỹ thuật của hệ thống bôi trơn và yêu cầu một loại bơm có thể đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật mà kích thước lại nhỏ nhất nhằm giảm kích thước động cơ.

#### Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ, Bộ Giáo dục và Đào tạo, Mã số: B2016-BKA-21.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Trương Công Giang, Nguyễn Hồng Thái, Thiết kế chế tạo bơm hypôgerôto ứng dụng trong các hệ thống bôi trơn của động cơ ô tô xe máy. Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Đà Nẵng 2015, 290 – 295.
- [2] Nguyễn Đức Hùng, Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học đến động học của máy thủy lực bánh răng ăn khớp trong kiểu cycloid. Luận án Phó Tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, năm 1996.
- [3] Trương Công Giang, Trần Ngọc Tiến, Nguyễn Hồng Thái, Ảnh hưởng của bán kính chân răng đến lưu lượng của bơm thủy lực thể tích bánh răng ăn khớp trong hypoxylôit. Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí –Lần IV, năm 2015, 318 – 325.
- [4] Soon - Man Kwon, Han Sung Kang, Joong-Ho Shin, Rotor profile design in a hypogertor pump. Journal of Mechanical Science and Technology, 23, 2009, 3459-3470, DOI: 10.1007/s12206-009-1007-y.
- [5] Lozica Ivanvić, Danica Josifović, Mirko Blagojević, Blaza Stojanvić, Andrej Ilić. Determination of gerotor pump theoretical flow. 1st International Scientific Conference, 2012, 243–250.
- [6] Trương Công Giang, Nguyễn Hồng Thái, Tổng hợp biên dạng bánh răng hypoxylôit khi biết trước hai tâm tích và một biên dạng cung tròn. Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Đà Nẵng 2015, 296 – 302.
- [7] 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 hypoxylôit. Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Đà Nẵng 2015, 280 - 289.