

# TÍNH TOÁN TRUYỀN NHIỆT TRÊN ỐNG CÓ CÁNH THEO PHƯƠNG PHÁP MỚI USING NEW METHOD TO CALCULATE HEAT TRANSFER IN TUBES WITH WINGS

Hồ Trần Anh Ngọc

Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; Email: anhngoctr@yahoo.com

**Tóm tắt** - Quá trình truyền nhiệt qua ống là một quá trình truyền nhiệt phức tạp. Trong thực tế, để tính toán quá trình truyền nhiệt qua ống đã có nhiều phương pháp tính toán truyền thống khác nhau, nhất là tính toán truyền nhiệt đối với ống có cánh, hầu hết các phương pháp khi tính rất phức tạp và tốn nhiều thời gian. Trong khuôn khổ bài báo này, tác giả đã đưa ra phương pháp tính mới để tính truyền nhiệt qua ống có cánh, từ đó áp dụng vào tính toán cho các loại ống hình trụ có cánh với nhiều biên dạng khác nhau như ống vách trụ có cánh ngang thân. Trên cơ sở đó, bài báo có thể áp dụng để tính toán cho ống vách trụ có cánh dọc thân, đặc biệt là ống vách trụ có cánh xoắn. Ứng với mỗi loại cánh khác nhau, tác giả sẽ đi tính toán bán kính tương đương, tính chu vi và diện tích mặt cắt ngang của ống.

**Từ khóa** - truyền nhiệt; phương pháp tính mới; ống vách trụ có cánh ngang thân; ống vách trụ có cánh dọc thân; ống vách trụ có cánh xoắn.

## 1. Đặt vấn đề

Tính toán truyền nhiệt trong các thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) là một trong những bài toán rất phức tạp, luật phân bố nhiệt độ cho biết nhiệt độ trong vật thay đổi theo tọa độ (x, y, z) và biến thời gian (τ), luật trao đổi nhiệt độ cho biết phương chiều, độ lớn của dòng nhiệt q [W/m<sup>2</sup>] đi qua một điểm bên trong hoặc trên biên W của vật mà ta nghiên cứu. Để giải bài toán này, đồng thời chúng ta phải sử dụng nhiều phương pháp cả lý thuyết (Giải bằng phương pháp giải tích: phương pháp toán tử, phương pháp sai phân hữu hạn hay phân tử hữu hạn) lẫn thực nghiệm (Dựa vào lý thuyết đồng dạng, thí nghiệm, đo đạc và xử lý số liệu) [1], [2]. Các phương pháp trên khi tính toán cần phải tốn kém nhiều thiết bị, công sức và thời gian nhưng mức độ chính xác cũng chưa thể kiểm chứng được. Chính vì vậy, trong bài báo này, tác giả đưa ra một phương pháp tính truyền nhiệt mới áp dụng cho ống vách trụ loại có cánh và loại không có cánh, cụ thể là ống có cánh ngang thân.

## 2. Cơ sở lý thuyết để tính toán truyền nhiệt qua vách trụ

### 2.1. Vách trụ không có cánh

Với vách trụ đồng chất, hệ số dẫn nhiệt λ, có mặt trong bán kính r<sub>1</sub>, tiếp xúc với môi chất nhiệt độ t<sub>f1</sub> và mặt ngoài bán kính r<sub>2</sub>, tiếp xúc với môi chất nhiệt độ t<sub>f2</sub> thì công thức tính truyền nhiệt qua vách được xác định theo phương trình cân bằng nhiệt cho vách khi ổn định: [3], [6]

$$q_1 = q_{a1} = q_{\lambda} = q_{a2}, \text{ W/m} \quad (1)$$

Trong đó:

- q<sub>1</sub>: Nhiệt lượng truyền từ môi chất nóng đến môi chất lạnh qua 1m dài vách trụ, W/m.

- q<sub>a1</sub>: Nhiệt lượng truyền vào 1m dài vách trụ do TĐN đối lưu giữa môi chất bên trong (có nhiệt độ t<sub>f1</sub>, hệ số tỏa nhiệt α<sub>1</sub>) và mặt trong vách trụ (có nhiệt độ: t<sub>w1</sub>, °C; Chu vi: u<sub>1</sub> = 2πr<sub>1</sub>, m);

**Abstract** - The process of heat transfer through the tube is a complex process of heat transfer. In fact, to calculate the heat transfer through the tube, there are many different traditional calculation methods, especially calculation of heat transfer through tubes with wings. Most of the calculation methods are very complex and time-consuming. In this paper, the author has developed a new calculation method for calculating heat transfer through the tube with wings, which is applied to the calculation of cylindrical tubes with wings with different profiles such as horizontal winged cylindrical tubes /casings. On this basis, the method can be applied to calculate heat transfer through vertical winged cylindrical casings ,especially helix-winged cylindrical casings . For each different type of wings, the author will calculate the equivalent radius, the perimeter and the area of the cross section of the tube.

**Key words** - heat transfer; new calculation method; horizontal winged cylindrical casings/tubes; vertical winged cylindrical casings ; helix-winged cylindrical casings.

$$q_{a1} = \alpha_1 \cdot (t_{f1} - t_{w1}) \cdot u_1, \text{ W/m} \quad (2)$$

- q<sub>a2</sub>: Nhiệt lượng truyền từ 1m dài vách trụ ra môi chất bên ngoài do TĐN đối lưu giữa mặt ngoài vách (có nhiệt độ t<sub>w2</sub>, °C; Chu vi u<sub>2</sub> = 2πr<sub>2</sub>, m) và môi chất bên ngoài (có nhiệt độ t<sub>f2</sub>, hệ số tỏa nhiệt α<sub>2</sub>):

$$q_{a2} = \alpha_2 \cdot (t_{w2} - t_{f1}) \cdot u_2, \text{ W/m}. \quad (3)$$

- q<sub>λ</sub>: Nhiệt lượng truyền qua 1m dài vách do dẫn nhiệt:

$$q_{\lambda} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}, \text{ W/m} \quad (4)$$

Từ (1), (2), (3), (4), suy ra:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot u_2}}, \text{ W/m} \quad (5)$$

$$\text{Đặt } k_l = \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot u_2} \right)^{-1}, \text{ W/mK} \quad (6)$$

là hệ số truyền nhiệt của 1m dài vách trụ.

Cho nên ta có: q<sub>l</sub> = k<sub>l</sub> · (t<sub>f1</sub> - t<sub>f2</sub>), W/m

### 2.2. Vách trụ có cánh

Đối với vách trụ có cánh ở bên ngoài, người ta coi nhiệt độ trên bề mặt ngoài của vách t<sub>w2</sub> và hệ số tỏa nhiệt α<sub>2</sub> là phân bố đều. Bằng cách thiết lập phương trình cân bằng nhiệt cho vách tương tự như trên, ta xác định được công thức tính truyền nhiệt qua vách là:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_{2l}}}, \text{ W/m} \quad (7)$$

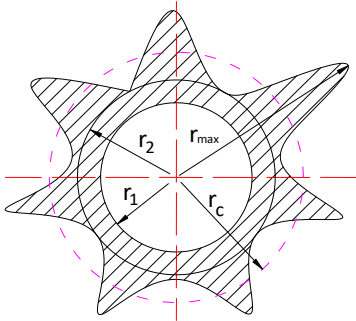
Trong đó: F<sub>2l</sub> là diện tích bề mặt ngoài của 1m dài vách trụ có cánh, các đại lượng khác trong công thức vẫn giống như trong trường hợp vách trụ không có cánh.

### 2.3. Phương pháp tính vách trụ mới [5]

Ta thấy khi gắn thêm cánh vào vách trụ, nhiệt trở dẫn nhiệt  $R_\lambda$  của nó sẽ tăng lên. Với vách trụ đồng chất có cánh (cánh ở bên ngoài), hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$ , bán kính mặt trụ tròn trong là  $r_1$ , bán kính mặt trụ tròn ngoài là  $r_2$ , bên trong vách tiếp xúc với môi chất có  $(t_{f1}, \alpha_1)$ , bên ngoài tiếp xúc với môi chất có  $(t_{f2}, \alpha_2)$  thì  $R_\lambda$  có thể tính theo công thức sau:

$$R_\lambda = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1}, \text{ mK/W}$$

Trong phương pháp mới này, tác giả đưa ra thành phần bán kính thay thế chính là  $r_c$ : bán kính tương đương của mặt ngoài vách, trong đó bán kính  $r_c \in (r_2 = r_{\min}; r_{\max})$ , với  $r_{\max}$  là bán kính lớn nhất của cánh. Việc so sánh bán kính tương đương  $r_c$  này với bán kính ngoài cũ được thể hiện ở hình vẽ 1 ở dưới.



**Hình 1.** Mặt cắt vuông góc với trục vách trụ có cánh

Khi đó nhiệt lượng dẫn qua 1m dài vách ống là:

$$q_\lambda = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{R_\lambda} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1}}, \text{ W/m} \quad (8)$$

Theo phương trình cân bằng nhiệt cho vách trụ có cánh khi vách ổn định ( $q_l = q_{\alpha 1} = q_\lambda = q_{\alpha 2}$ ), ở đây ta đề xuất được công thức tính truyền nhiệt qua vách:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_{2l}}}, \text{ W/m} \quad (9)$$

Trong đó:

- $u_1 = 2\pi r_1$ ;
- $m$ : chu vi mặt trong vách trụ có cánh.
- $F_{2l}$ : diện tích bề mặt ngoài của 1m dài vách trụ có cánh, m.

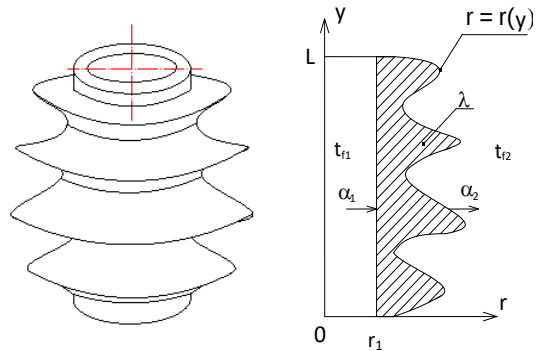
So sánh công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh theo tài liệu tham khảo và công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh được đề xuất theo phương pháp tính mới ở đây, ta thấy hai công thức có sự khác nhau ở thành phần bán kính  $r_2$  và bán kính  $r_c$ .

Để giảm bớt sai số giữa hai công thức tính, ở đây ta tính toán trao đổi nhiệt theo công thức (9) trong các bài toán tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh, trong công thức tính đó,  $r_c$  sẽ được xác định tùy theo từng dạng cánh của vách. Ngoài ra, để tăng thêm mức độ chính xác của phương pháp tính mới này, trong các phần tính toán cho các ống có biên dạng cánh cụ thể, ta phải đi tính cho được diện tích bề mặt xung quanh  $F_{2l}$  của ống có cánh.

### 3. Tính truyền nhiệt của các ống vách trụ có cánh ngang thân [5]

#### 3.1. Vách trụ có cánh ngang thân

Cho vách trụ đồng chất có chiều dài  $L$ , hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$ , mặt trong là mặt trụ tròn có bán kính  $r_1$ , trao đổi nhiệt phức hợp với môi chất 1 có nhiệt độ  $t_{f1}$ , hệ số tỏa nhiệt phức hợp từ môi chất đến bề mặt trong vách là  $\alpha_1$ . Mặt ngoài vách có cánh ngang, phương trình biên dạng cánh trong mặt phẳng chứa trục của vách:  $r = r(y)$ ,  $y \in [0; L]$ , mặt ngoài trao đổi nhiệt phức hợp với môi chất 2 có nhiệt độ  $t_{f2}$ , hệ số tỏa nhiệt phức hợp từ mặt ngoài đến môi chất 2 là  $\alpha_2$ .



**Hình 2.** Truyền nhiệt qua vách trụ có cánh ngang

#### 3.2. Lập công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh ngang

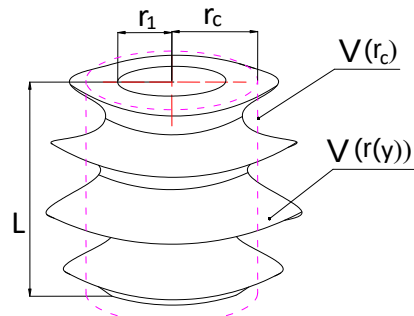
Sử dụng phương pháp tính mới ta tính được dòng nhiệt trao đổi qua vách trụ có cánh ngang:

$$Q = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot F_1} + \frac{1}{2\pi\lambda L} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_2}} = k_l \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \cdot L, \text{ W} \quad (10)$$

Trong đó:

$$k_l = \left( \frac{L}{\alpha_1 \cdot F_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{L}{\alpha_2 \cdot F_2} \right)^{-1}, \text{ W/mK} \quad (11)$$

là hệ số truyền nhiệt của 1m dài vách trụ có cánh ngang.



**Hình 3.** Quy đổi vách trụ có cánh ngang thành vách trụ không cánh có cùng chiều dài

Với bán kính  $r_c$  được xác định bằng cách quy đổi vách trụ có cánh ngang thành vách trụ không có cánh sao cho chiều dài, bán kính mặt trong và thể tích của chúng bằng nhau. Khi đó  $r_c$  là bán kính mặt ngoài của vách trụ không có cánh quy đổi được xác định theo công thức như sau:

$$r_c = \sqrt{\frac{V_2}{\pi L}}, \text{ m} \quad (12)$$

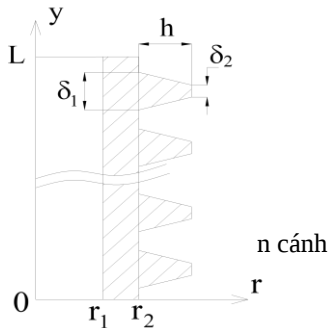
### 4. Áp dụng phương pháp tính mới để tính truyền nhiệt các ống vách trụ có cánh ngang thân với biên dạng khác nhau [5], [6]

Trên cơ sở cách tính quy đổi như trên ta tính được diện tích, thể tích và bán kính tương đương  $r_c$  của các loại biên

dạng cánh ngang như sau:

#### 4.1. Lập công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh ngang với biên dạng hình thang

- Hình vẽ mặt cắt ngang:



**Hình 4.** Ống vách trụ có cánh ngang hình thang

- Tính diện tích  $F_2$  ( $m^2$ ):

$$F_2 = 2\pi n(2r_2 + h) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(\delta_1 - \delta_2)^2}{4}} + 2\pi r_2 [L - n\delta_1 + (1 + h/r_2) \cdot n\delta_2] \quad (13)$$

- Tính thể tích  $V_2$  ( $m^3$ ):

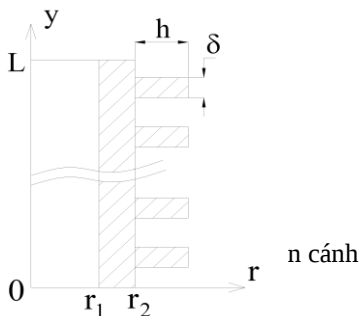
$$V_2 = \pi r_2^2 [L - n\delta_1 + (1 + h/r_2) \cdot n\delta_2] + n \frac{\pi}{3} \cdot (\delta_1 - \delta_2) \cdot (3r_2^2 + 3r_2h + h^2) \quad (14)$$

- Tính bán kính tương đương  $r_c$  (m):

$$r_c = \left\{ \frac{r_2^2 [L - n\delta_1 + (1 + h/r_2) \cdot n\delta_2] / L}{+ \frac{n}{3} \cdot (\delta_1 - \delta_2) \cdot (3r_2^2 + 3r_2h + h^2) / L} \right\}^{1/2}, m \quad (15)$$

#### 4.2. Lập công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh ngang với biên dạng hình chữ nhật

- Hình vẽ mặt cắt ngang:



**Hình 5.** Ống vách trụ có cánh ngang hình chữ nhật

- Tính diện tích  $F_2$  ( $m^2$ ):

$$F_2 = 2\pi n(2r_2 + h) \cdot h + 2\pi r_2 \left[ L + \frac{h}{r_2} \cdot n\delta \right] \quad (16)$$

- Tính thể tích  $V_2$  ( $m^3$ ):

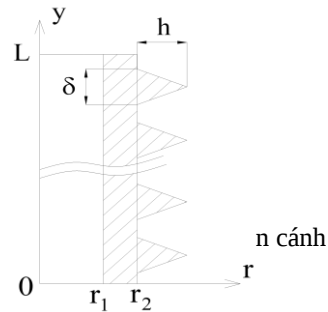
$$V_2 = \pi r_2^2 (L - n\delta) + \pi n\delta \cdot (r_2 + h)^2 \quad (17)$$

- Tính bán kính tương đương  $r_c$  (m):

$$r_c = \sqrt{\frac{r_2^2 (L - n\delta) + \pi n\delta \cdot (r_2 + h)^2}{L}}, m \quad (18)$$

#### 4.3. Lập công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh ngang với biên dạng hình tam giác

- Hình vẽ mặt cắt ngang:



**Hình 6.** Ống vách trụ có cánh ngang hình tam giác

- Tính diện tích  $F_2$  ( $m^2$ ):

$$F_2 = 2\pi n(2r_2 + h) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{\delta^2}{4}} + 2\pi r_2 (L - n\delta) \quad (19)$$

- Tính thể tích  $V_2$  ( $m^3$ ):

$$V_2 = \pi r_2^2 \cdot (L - n\delta) + \frac{\pi}{3} \cdot n\delta \cdot (3r_2^2 + 3r_2h + h^2) \quad (20)$$

- Tính bán kính tương đương  $r_c$  (m):

$$r_c = \left\{ \frac{r_2^2 \cdot (L - n\delta) / L}{+ \frac{n\delta \cdot (3r_2^2 + 3r_2h + h^2)}{3L}} \right\}^{1/2}, m \quad (21)$$

### 5. Kết luận

Như vậy, trên cơ sở tính truyền nhiệt qua vách trụ theo phương pháp mới, ta đã tính được hệ số truyền nhiệt  $k$  và mật độ dòng nhiệt  $q$  cũng như dòng nhiệt  $Q$  tổng qua ống vách trụ, đồng thời qua phương pháp tính mới này, ta cũng đi xây dựng được công thức tính cho vách trụ có cánh ngang theo phương pháp mới để tính toán diện tích, thể tích cũng như bán kính tương đương cho vách trụ có cánh ngang thân với các biên dạng khác nhau như ống có cánh ngang hình thang, ống có cánh ngang hình chữ nhật và ống có cánh ngang hình tam giác.

Với cách tính này, bài báo sẽ làm cơ sở để tính toán quá trình truyền nhiệt cho các vách trụ có cánh dọc thân, cánh xoắn với các biên dạng khác nhau một cách dễ dàng và thuận lợi.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Bón, Hoàng Ngọc Đồng, *Nhiệt Kỹ thuật*, NXB Giáo dục, 1999.
- [2] Nguyễn Bón, *Tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*, NXB Đà Nẵng, 2005.
- [3] Hoàng Đình Tín, *Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*, Trung tâm nghiên cứu thiết bị nhiệt và năng lượng mới, Trường ĐHBK Hồ Chí Minh, 1996.
- [4] Bùi Hải, Dương Đức Hồng, Hà Mạnh Thư, *Thiết bị trao đổi nhiệt*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 1999.
- [5] Hồ Trần Anh Ngọc, *Nghiên cứu thiết bị ngưng tụ kiểu ống lồng ống có cánh sử dụng trong kỹ thuật lạnh*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, chuyên ngành Công nghệ và thiết bị lạnh, tháng 7, 2014.
- [6] Incropera, F. P. and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 2002.