

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP MỚI ĐỂ TÍNH TRUYỀN NHIỆT TRÊN VÁCH TRỤ CÓ CÁNH DỌC THÂN VÀ CÁNH XOẴN

USING NEW METHOD TO CALCULATE HEAT TRANSFER IN TUBE WITH WINGS ALONG BODY AND WINGS TWISTING AROUND TUBE

Hồ Trần Anh Ngọc

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

Tóm tắt - Trong thực tế, việc giải bài toán truyền nhiệt qua vách ống là một quá trình tính toán tương đối phức tạp, nhất là đối với các ống có cánh được bố trí ở vách phía bên ngoài với nhiều biên dạng cánh khác nhau. Có nhiều phương pháp tính toán truyền thống để giải bài toán truyền nhiệt này, tuy nhiên để thực hiện các phương pháp đó đòi hỏi phải tốn kém nhiều thời gian và chi phí làm thực nghiệm. Chính vì vậy, trong khuôn khổ bài báo này, tác giả đã áp dụng cách tính truyền nhiệt theo phương pháp mới để tính toán truyền nhiệt qua vách trụ có cánh thẳng và cánh xoắn bố trí dọc thân ống, trong đó ứng với mỗi thể loại có các biên dạng cánh khác nhau. Đồng thời tác giả cũng đưa ra các công thức để tính bán kính tương đương, tính chu vi và diện tích mặt cắt ngang của ống có cánh thẳng và ống có cánh xoắn dọc thân.

Từ khóa - phương pháp tính toán nhiệt truyền thống; phương pháp tính truyền nhiệt mới; bán kính tương đương; ống vách trụ có cánh dọc thân; ống vách trụ có cánh xoắn.

1. Đặt vấn đề

Ta biết rằng, thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) hiện nay được sử dụng khá phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau của các ngành kỹ thuật. Để giải một bài toán truyền nhiệt qua TBTĐN cần phải thực hiện nhiều phương pháp bao gồm cả phương pháp lý thuyết lẫn phương pháp thực nghiệm. Khi sử dụng phương pháp lý thuyết, ta phải dựa trên các định luật vật lý, lập hệ phương trình mô tả hiện tượng TĐN, giải bằng phương pháp giải tích (hoặc phương pháp toán tử, phương pháp số như sai phân hữu hạn hay phần tử hữu hạn) để tìm hàm phân bố nhiệt độ và các công thức tính nhiệt. Trong khi đó, phương pháp thực nghiệm lại viết dựa vào lý thuyết đồng dạng, lập mô hình thí nghiệm, đo và xử lý các số liệu, trình bày các kết quả ở dạng bảng số, đồ thị hoặc công thức thực nghiệm... [2]. Các phương pháp trên cho thấy không thể giải dưới dạng giải tích để tìm hệ số truyền nhiệt các vách trụ có cánh khác nhau dưới dạng tường minh. Muốn giải và tìm hệ số truyền nhiệt k cần đơn giản hóa và đưa bài toán về mô hình truyền thống đơn giản hơn để giải. Mô hình mới có sai số nhỏ. Để không sử dụng các phương pháp tính toán tương đối phức tạp như trên, tác giả đã áp dụng phương pháp mới để tính truyền nhiệt cho ống vách trụ loại có cánh thẳng và cánh xoắn bố trí dọc thân ở bên ngoài.

2. Giới thiệu phương pháp mới để tính truyền nhiệt qua vách trụ

2.1. Cơ sở để tính toán truyền nhiệt vách trụ

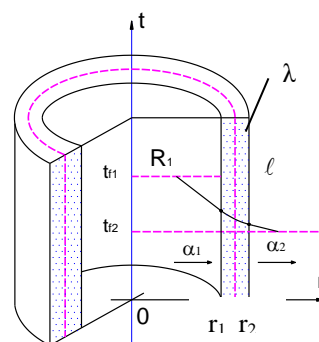
Trong trường hợp đầu tiên, ta xét vách trụ được chế tạo từ vật liệu đồng chất được thể hiện như dưới Hình 1 bên dưới có hệ số dẫn nhiệt λ (W/mK), vách bên trong có bán kính r_1 (m), tiếp xúc với môi chất có nhiệt độ t_{f1} (°C), vách bên ngoài có bán kính r_2 (m), tiếp xúc với môi chất có nhiệt

Abstract - In fact, the solution to the problem of heat transfer through the wall of the tube is a relatively complex calculation, especially when the tube side walls are arranged in the outer contour with many different profiles. There are many traditional computational methods to solve the problem of heat transfer; however, to implement those methods requires time and cost of experimentation. Therefore, within the framework of this paper, the authors use the new method to calculate heat transfer through the wall tube with straight and helix wings arranged along the outside barrel, and for each category are different wing profiles. In addition, the authors also give the formula for calculating the equivalent radius, the circumference and the area of cross section of tube with straight wings and helix wings along the body.

Key words - traditional method of calculating heat transfer; new method of calculating heat transfer; equivalent radius; cylindrical wall tube with vertical wings; cylindrical wall tube with helix wings.

độ t_{f2} (°C), lúc đó nhiệt truyền qua vách trụ không có cánh bên ngoài được xác định theo công thức như sau [3], [4]:

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



Hình 1. Truyền nhiệt qua vách trụ

- $\alpha_1, u_1 = 2\pi r_1$: hệ số tỏa nhiệt và chu vi của vách trụ bên trong;

- $\alpha_2, u_2 = 2\pi r_2$: hệ số tỏa nhiệt và chu vi của vách trụ bên ngoài.

Trong trường hợp thứ hai là xét đối với vách trụ có cánh ở bên ngoài, coi nhiệt độ trên bề mặt ngoài của vách là t_{w2} và hệ số tỏa nhiệt α_2 là phân bố đều, ta có được công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh là:

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_{21}}}, \quad [\text{W/m}] \quad (3)$$

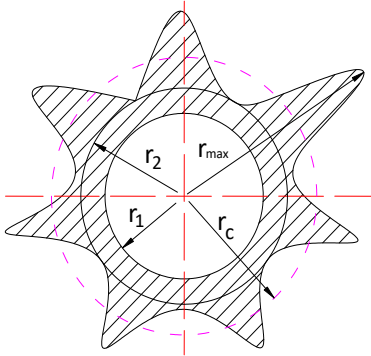
Trong đó, F_{21} là diện tích bề mặt ngoài của 1m dài vách trụ có cánh, các đại lượng khác trong công thức vẫn giống như trong trường hợp vách trụ không có cánh.

2.2. Phương pháp tính vách trụ mới [5], [6]

Ở đây tác giả đã đề xuất phương pháp mới để tính vách trụ là vách được làm bằng vật liệu đồng chất có cánh được bố trí ở bên ngoài, hệ số dẫn nhiệt $\lambda(\text{W/mK})$, bán kính mặt trụ tròn ở phía trong là $r_1(\text{m})$, bán kính mặt trụ tròn ở phía ngoài là $r_2(\text{m})$, bên trong vách tiếp xúc với môi chất có (t_{f1}, α_1) , bên ngoài tiếp xúc với môi chất có (t_{f2}, α_2) . Ta thấy rằng, khi gắn thêm cánh vào vách trụ, nhiệt trở dẫn nhiệt R_λ của nó sẽ tăng lên, trong trường hợp này, nhiệt trở dẫn nhiệt R_λ có thể tính theo công thức sau:

$$R_\lambda = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} \quad [\text{mK/W}] \quad (4)$$

Trong phương pháp mới này, đối với ống có biên dạng cánh bất kỳ, 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_{\min} là bán kính có đường kính nhỏ nhất, 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 2 ở dưới.



Hình 2. Mặt cắt ngang với trục vách trụ có cánh

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

$$q_\lambda = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{R_\lambda} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1}} \quad [\text{W/m}] \quad (5)$$

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

$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_{2l}}} \quad [\text{W/m}] \quad (6)$$

Trong đó:

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

So sánh công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh theo tài liệu tham khảo [3] và công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh được đề xuất theo phương pháp tính mới (6) ở đây, ta thấy hai công thức có sự khác nhau ở thành phần bán kính r_2 và bán kính r_c .

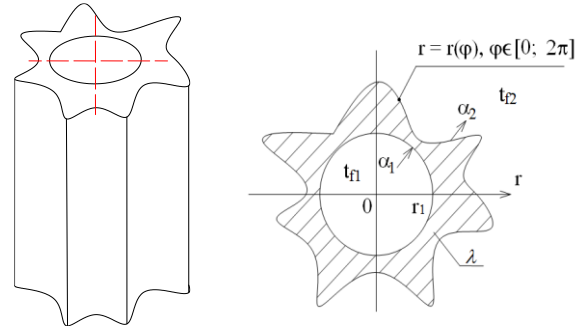
Để giảm bớt sai số giữa hai công thức tính, ta tính toán ĐTN theo công thức (6) trong các bài toán tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh. Trong công thức tính đó, r_c sẽ được xác định tùy theo từng biên dạng cánh của vách. Ngoài ra, để tăng thêm mức độ chính xác của phương pháp tính mới này, trong các 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 qua các ống vách trụ có cánh dọc thân [5]

3.1. Vách trụ có cánh dọc thân

Cho vách trụ đồng chất có chiều dài $L(\text{m})$, hệ số dẫn nhiệt $\lambda(\text{W/mK})$, mặt trong là mặt trụ tròn có bán kính $r_1(\text{m})$, trao đổi nhiệt phức hợp với môi chất một có nhiệt độ $t_{f1}(\text{°C})$, hệ số tỏa nhiệt phức hợp từ môi chất đến bề mặt trong vách là $\alpha_1(\text{W/m}^2\text{K})$. Mặt ngoài vách trụ có cánh bố trí dọc theo thân, phương trình biên dạng cánh trong mặt phẳng vuông góc với trục của vách là $r = r(\varphi)$, với $\varphi \in [0; 2\pi]$ (trong hệ tọa độ cực), mặt ngoài trao đổi nhiệt phức hợp với môi chất thứ hai có nhiệt độ $t_{f2}(\text{°C})$, hệ số tỏa nhiệt phức hợp là $\alpha_2(\text{W/m}^2\text{K})$, mặt trong vẫn là mặt trụ tròn được trình bày như hình vẽ 3 bên dưới:



Hình 3. Vách trụ cánh dọc và mặt cắt vuông góc trục

3.2. Lập công thức tính truyền nhiệt qua vách trụ có cánh dọc thân

Sử dụng phương pháp tính mới như đã trình bày ở trên, ta tính được dòng nhiệt trao đổi qua vách trụ có cánh dọc thân như sau:

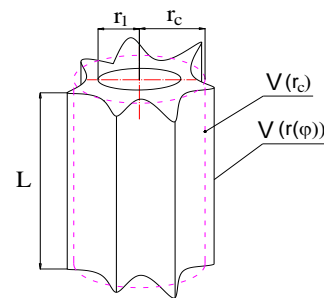
$$q_l = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot u_2}} = k_l \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \quad [\text{W/m}] \quad (7)$$

Trong đó:

- k_l : hệ số truyền nhiệt của 1m dài vách trụ có cánh dọc:

$$k_l = \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot u_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot u_2} \right)^{-1} \quad [\text{W/mK}] \quad (8)$$

- r_c : là bán kính tương đương của mặt ngoài vách trụ có cánh dọc, [m].



Hình 4. Quy đổi vách trụ có cánh dọc thành vách trụ không cánh có cùng chiều dài, bán kính mặt trong và thể tích

Ta xác định r_c bằng cách quy đổi vách trụ có cánh dọc 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 như hình vẽ 4 ở trên.

Gọi $V[r(\varphi)]$ là thể tích vách trụ có cánh dọc, $V(r_c)$ là thể tích vách trụ không có cánh quy đổi, ta có:

$$V[r(\varphi)] = V(r_c), [m^3].$$

$$\text{Mặc khác: } V(r_c) = \pi(r_c^2 - r_1^2) \cdot L, [m^3].$$

$V(r(\varphi)) = (f_2 - \pi r_1^2) \cdot L, [m^3]$, với f_2 là diện tích miền phẳng có đường biên là: $f_2 = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} r^2(\varphi) d\varphi, [m^2]$

$$\Rightarrow (f_2 - \pi r_1^2) \cdot L = \pi(r_c^2 - r_1^2) \cdot L \Rightarrow r_c = \sqrt{\frac{f_2}{\pi}}, [m] \quad (9)$$

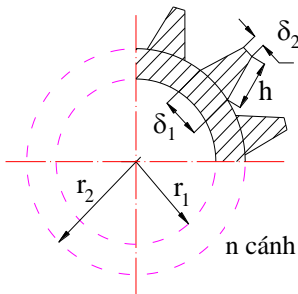
Vì vậy, trong nghiên cứu này ta đề xuất công thức xác định r_c theo dạng: $r_c = \sqrt{\frac{f_2}{\pi}} [m]$.

4. Áp dụng phương pháp tính mới để tính truyền nhiệt các ống vách trụ có cánh dọc thân với biên dạng khác nhau [5], [6], [7]

Với cách tính quy đổi như trên ta tính được chu vi: $u_1 = 2\pi r_1$, diện tích miền phẳng f_2 và bán kính tương đương r_c của các loại biên dạng cánh dọc thân như sau:

4.1. Lập công thức tính các đại lượng qua vách trụ có cánh dọc thân với biên dạng hình thang

- Hình vẽ mặt cắt ngang, Hình 5.



Hình 5. Ống vách trụ có cánh dọc thân hình thang

- Tính chu vi ống u_2 (m):

$$u_2 = 2\pi r_2 - n(\delta_1 - \delta_2) + 2n \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(\delta_1 - \delta_2)^2}{4}}, m \quad (10)$$

- Tính diện tích f_2 , (m^2):

$$f_2 = \pi r_2^2 + \frac{n(\delta_1 + \delta_2)h}{2}, m^2 \quad (11)$$

- Tính bán kính tương đương r_c (m):

$$r_c = \sqrt{r_2^2 + \frac{n(\delta_1 + \delta_2)h}{2\pi}}, m \quad (12)$$

4.2. Lập công thức tính các đại lượng qua vách trụ cánh dọc thân với biên dạng hình chữ nhật

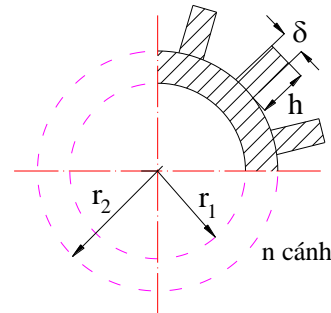
- Hình vẽ mặt cắt ngang, Hình 6.

- Tính chu vi ống u_2 (m): $u_2 = 2\pi r_2 + 2nh, m$ (13)

- Tính diện tích f_2 , (m^2): $f_2 = \pi r_2^2 + n\delta h, m^2$ (14)

- Tính bán kính tương đương r_c (m):

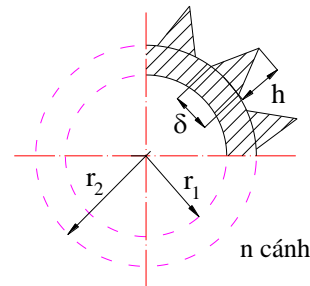
$$r_c = \sqrt{r_2^2 + \frac{n\delta h}{\pi}}, m \quad (15)$$



Hình 6. Ống vách trụ có cánh dọc thân hình chữ nhật

4.3. Lập công thức tính các đại lượng qua vách trụ cánh dọc thân với biên dạng hình tam giác

- Hình vẽ mặt cắt ngang, Hình 7.



Hình 7. Ống vách trụ có cánh dọc thân hình tam giác

- Tính chu vi ống u_2 (m):

$$u_2 = 2\pi r_2 - n\delta + 2n \cdot \sqrt{h^2 + \frac{\delta^2}{4}}, m \quad (16)$$

- Tính diện tích f_2 , (m^2): $f_2 = \pi r_2^2 + \frac{n\delta h}{2}, m^2$ (17)

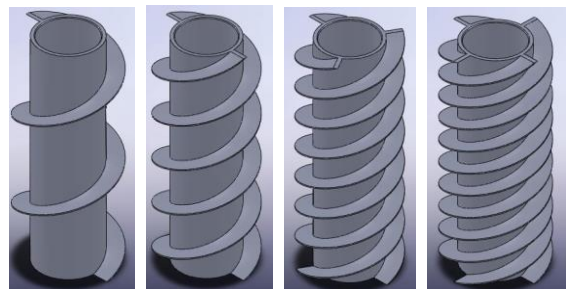
- Tính bán kính tương đương r_c (m):

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

5. Tính truyền nhiệt của các loại ống vách trụ có cánh xoắn [5], [7]

5.1. Vách trụ có cánh xoắn dọc thân

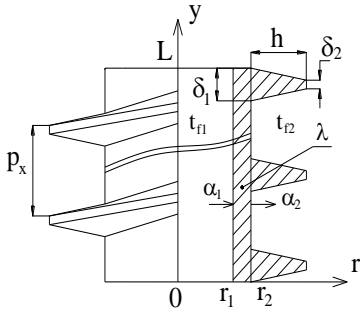
Vách trụ có cánh xoắn là vách trụ có cánh được quấn nhiều vòng quanh mặt trụ bên ngoài.



Hình 8. Ống có cánh xoắn dọc thân

Nếu cắt vách trụ cánh xoắn bởi một mặt phẳng chứa trục của vách mà ta có mặt cắt ngang cánh là hình thang thì được gọi là vách trụ cánh xoắn hình thang. Tương tự, ta có vách trụ cánh xoắn chữ nhật, tam giác...

Ta xét vách trụ đồng chất có chiều dài L, hệ số dẫn nhiệt λ , mặt trong có bán kính r_1 , môi chất 1 có nhiệt độ t_{f1} , hệ số tỏa nhiệt α_1 . Mặt ngoài bán kính r_2 , có cánh xoắn hình thang (mặt cắt cánh hình thang có đáy lớn là δ_1 , đáy nhỏ là δ_2 , chiều cao là h), bước xoắn của cánh là p_x . 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 α_2 (Như Hình 9).



Hình 9. Truyền nhiệt qua vách trụ có cánh xoắn hình thang

5.1.1. Lập công thức tính Q

Ta lập công thức tính nhiệt lượng truyền qua vách Q khi vách ổn định nhiệt như sau:

$$Q = Q_{a1} = Q_{\lambda} = Q_{a2}, [W]. \tag{19}$$

Sau khi tính toán ta suy ra được công thức tính dòng nhiệt Q như sau:

$$Q = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot F_1} + \frac{1}{2\pi\lambda L} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F_2}}, [W] \tag{20}$$

$$\text{Đặt: } k_f = \left(\frac{L}{\alpha_1 \cdot F_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_c}{r_1} + \frac{L}{\alpha_2 \cdot F_2} \right)^{-1}, [W/mK] \tag{21}$$

là hệ số truyền nhiệt của 1m dài vách trụ có cánh xoắn, từ đó suy ra: $\Rightarrow Q = k_f \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \cdot L, [W]$

Ta tính diện tích mặt ngoài vách trụ cánh xoắn hình thang F_2 như sau:

$$F_2 = 2\pi r_2 L - L_{x_{min}} \cdot \delta_1 + L_x \cdot u, [m^2] \tag{22}$$

Với u là tổng chiều dài của các cạnh bên và đáy nhỏ của hình thang (đáy lớn δ_1 , đáy nhỏ là δ_2) chiều cao là h:

$$u = \delta_2 + 2\sqrt{h^2 + \frac{(\delta_1 - \delta_2)^2}{4}}, [m]$$

5.1.2. Lập công thức tính r_c

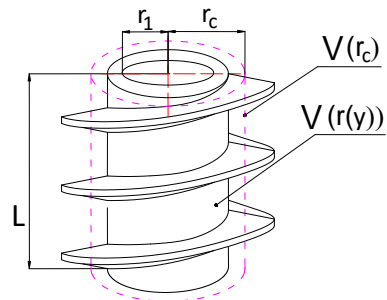
Gọi r_{min} ($r_{min} = r_2$) và r_{max} ($r_{max} = r_2 + h$) lần lượt là bán kính gốc cánh và bán kính đỉnh cánh. Ta xác định r_c bằng cách quy đổi vách trụ có cánh xoắn thành vách trụ không có cánh sao cho chiều dài, bán kính mặt trong và thể tích của chúng bằng nhau. Khi đó r_c được tính bằng bán kính mặt ngoài của vách trụ không có cánh quy đổi được trình bày như Hình 10.

$$V_2 = \pi r_2^2 \cdot L + L_x \cdot f, [m^3] \tag{23}$$

Trong đó f là diện tích hình thang (đáy lớn là δ_1 , đáy nhỏ là δ_2 , chiều cao là h),

$$f = \frac{(\delta_1 + \delta_2) \cdot h}{2}, [m^2] \tag{24}$$

$$\Rightarrow V_2 - \pi r_1^2 L = \pi (r_c^2 - r_1^2) \cdot L \Rightarrow r_c = \sqrt{\frac{V_2}{\pi L}}, [m] \tag{25}$$



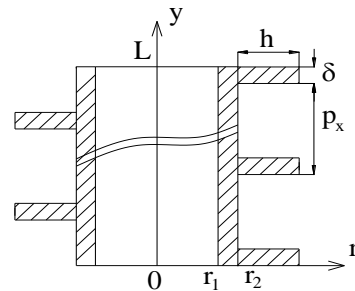
Hình 10. Quy đổi vách trụ có cánh xoắn thành vách trụ không có cánh có cùng L, bán kính r_1 , thể tích V_2

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

Với cách tính quy đổi như trên ta xét thêm các loại vách trụ có cánh xoắn hình chữ nhật, tam giác trong đó diện tích $F_1 = 2\pi r_1 L$, với r_1 và L là bán kính trong và chiều dài của các vách trụ cánh xoắn.

5.2.1. Lập công thức tính các đại lượng qua vách trụ có cánh xoắn dọc thân với biên dạng hình chữ nhật

- Hình vẽ mặt cắt ngang, Hình 11.



Hình 11. Ống vách trụ có cánh xoắn dọc thân hình chữ nhật

- Tính diện tích ngoài ống F_2 (m^2):

$$F_2 = 2\pi r_2 L - L_{x_{min}} \cdot \delta + L_x \cdot (\delta + 2h), m^2 \tag{26}$$

- Tính thể tích V_2 , (m^3):

$$V_2 = \pi r_2^2 \cdot L + L_x \cdot h \cdot \delta, m^3 \tag{27}$$

- Tính bán kính tương đương r_c (m):

$$r_c = \sqrt{r_2^2 + \frac{L_x \cdot h \cdot \delta}{\pi L}}, m \tag{28}$$

5.2.2. Lập công thức tính các đại lượng qua vách trụ cánh xoắn dọc thân với biên dạng hình tam giác

- Hình vẽ mặt cắt ngang, Hình 12.

- Tính diện tích ngoài ống F_2 (m^2):

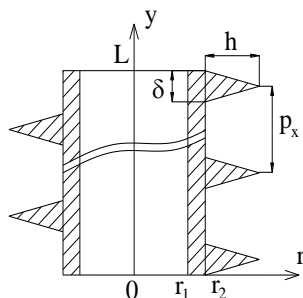
$$F_2 = 2\pi r_2 L - L_{x_{min}} \cdot \delta_1 + L_x \cdot 2\sqrt{h^2 + \frac{\delta^2}{4}}, m^2 \tag{29}$$

- Tính thể tích V_2 , (m^3):

$$V_2 = \pi r_2^2 \cdot L + L_x \cdot \frac{\delta \cdot h}{2}, m^3 \tag{30}$$

- Tính bán kính tương đương r_c (m):

$$r_c = \sqrt{r_2^2 + \frac{L_x \cdot \delta \cdot h}{2\pi L}}, m \tag{31}$$



Hình 12. Ống vách trụ có cánh xoắn dọc thân hình tam giác

6. Kết luận

Ta thấy rằng, với các loại TBTĐN có cánh thẳng và cánh xoắn dọc thân, chúng ta không thể giải được bài toán bằng cách thông thường để tìm được hệ số truyền nhiệt k dưới dạng tường minh. Vì vậy, trên cơ sở tính truyền nhiệt qua vách trụ theo phương pháp mới, ta tính được hệ số truyền nhiệt k và mật độ dòng nhiệt q cũng như dòng nhiệt Q tổng qua ống vách trụ, so với phương pháp tính truyền thống qua kiểm chứng có sai số từ (4-6)%, đây là kết quả có thể chấp nhận được. Đồng thời qua phương pháp tính mới này, tác giả đã xây dựng được các công thức tính cho vách trụ có cánh, áp dụng để tính toán diện tích, thể tích

cũng như bán kính tương đương cho vách trụ có cánh thẳng và cánh xoắn dọc thân với các biên dạng khác nhau như hình thang, hình chữ nhật, hình tam giác.

Với cách tính này, bài báo làm cơ sở để tính toán quá trình truyền nhiệt cho các loại ống lồng ống với ống bên trong là các ống vách trụ có cánh thẳng, cánh xoắn dọc thân ứng với các biên dạng khác nhau một cách dễ dàng và thuận lợi

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Bốn, Hoàng Ngọc Đồng, *Nhiệt Kỹ thuật*, Nhà xuất bản Giáo dục, 1999.
- [2] Nguyễn Bốn, *Tính toán thiết bị trao đổi nhiệt*, Nhà xuất bản 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 Thụ, *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] Hồ Trần Anh Ngọc, Tính toán truyền nhiệt trên ống có cánh theo phương pháp mới, *Tạp chí Khoa học Công nghệ- ĐHĐN*, số 11(84)-2014, trang. 50-57.
- [7] Incropera, F. P. and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 2002.

(BBT nhận bài: 11/03/2015, phản biện xong: 16/03/2015)