Chương 12. TRUYỀN NHIỆT TRONG THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

12.1. TRAO ĐỔI NHIỆT PHỨC HỢP

Trao đổi nhiệt phức hợp là hiện tượng TĐN trong đó có hai hoặc cả 3 phương thức cơ bản cùng xẩy ra. Đó là hiện tượng trao đổi nhiệt giữa vật rắn và các môi trường khác nhau mà nó tiếp xúc.

12.1.1. TĐN phức hợp giữa vật rắn và các môi trường

Nếu vật rắn tiếp xúc 4 môi trường có đặc trưng pga khác nhau: rắn đ, lỏng (l), khí (k) và chân không hoặc môI trường các hạt dưới mức phân tử (c) tại 4 bề mặt F_r, F_l, F_k và F_c thì:

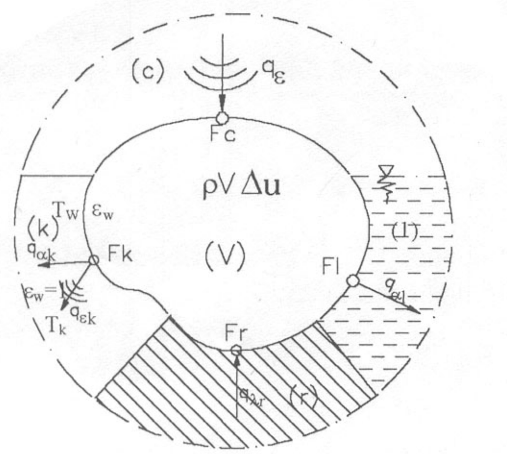
- Trong V chỉ xẩy ra hiện tượng dẫn nhiệt đơn thuần (q_λ) và thay đổi nội năng ($\rho V\Delta u$).

- Trên F_r chỉ xẩy ra hiện tượng dẫn nhiệt giữa F_r và môi trường rắn ($q_{\lambda r}$).

- Trên F_l chỉ xẩy ra hiện tượng toả nhiệt giữa F_l và chất lỏng ($q_{\lambda l}$), vì trong toả nhiệt đã bao gồm dẫn nhiệt và bức xạ vào chất lỏng,được lớp chất lỏng gần vách hấp thụ và mang đi theo dòng đối lưu.

- Trên F_l chỉ xẩy ra hiện tượng TĐN bức xạ giữa F_c và môI trường (q_ε).

- Chỉ trên F_k mới xẩy ra đồng thời 2 hiện tượng toả nhiệt ($q_{\alpha k}$) và TĐN bức xạ ($q_{\varepsilon k}$) với chất khí.



H.12.1.1. Trao đổi nhiệt giữa vật V và 4 môi trường đặc trưng

Dòng nhiệt trên mỗi m^2 mặt F_k là:

$$q_k = q_{\alpha k} + q_{\varepsilon k} \qquad (12\text{-}1)$$

Nếu tính theo nhiệt độ và độ đen T_w, ε_w của mặt F_k và T_k, $\varepsilon_k = 1$ của chất khí thì q_k sẽ có dạng:

$$q_k = \alpha_k(T_W - T_k) + \varepsilon_W\,\delta_0(T_W^4 - T_k^4),\ \ (W/m^2), \qquad (12\text{-}2)$$

với: $\alpha = \alpha_k + \varepsilon_W\,\delta_0\,\dfrac{T_W^4 - T_k^4}{T_W - T_k}$, (W/m^2K),được gọi là hệ số toả nhiệt phức hợp.

12.1.2. Cân bằng nhiệt cho hệ TĐN phức hợp

Nếu qui ước dòng nhiệt q vào thệ V lầ dương (+), ra khỏi hệ là (-) thì phương trình cân bằng nhiệt tổng quát cho hệ V bất kỳ sẽ có dạng:

$$\rho V\Delta u = \tau\sum Q_{i.}\ (j), \text{ với } Q_i\int_{F_i} q_i dF\ , (W) \qquad (12\text{-}3)$$

Nếu dòng nhiệt q không đổi trên F_i và có chiều như hình (12.1.1) thì phương trình cân bằng nhiệt cho hệ V sẽ có dạng:

$$\rho VC_p(\overline{T_\tau} - T_0) = \tau[q_{\lambda r}F_r + q_\varepsilon F_c - q_{\alpha l}F_l - (q_{0k} + q_{0k})F_k +],$$

Khi vật V ổn định , $\Delta u = 0$, phương trình CBN có dạng $\sum Q_i = 0$.

Nếu hệ vật V là chất lỏng hay chất khí chứa trong V thì phương trình CBN có dạng:

$\rho V\Delta i = \tau\sum Q_i$ với $\Delta I = i_\tau - i_0$ là biến thiên entanpi của chất lỏng hay khí trong V, sau khoảng thời gian τ.

Nếu chất lỏng trong V không chuyển pha và coi mỗi dòng nhiệt q_i = const được tính tại nhiệt độ trung bình của mặt F_l là $\overline{T_{w1}} = \frac{1}{2}(T_w - T_0)$ thì phương trình CBN có dạng:

$$\rho VC_p(T_\tau - T_0) = \tau[q_{\lambda r}F_r + q_\varepsilon F_c - q_{\alpha l}F_l - (q_{0k} + q_{0k})F_k +] \qquad (12\text{-}5)$$

Nhờ phương trình này có thể tìm được đại lượng chưa biệt nào đó, chẳng hạn nhiệt độ T_τ hoặc thời gian τ khi có thể xác định tất cả các đại lượng còn lại.

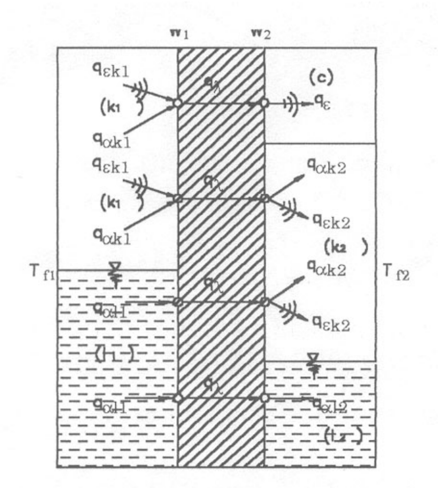
12.2. TRUYỀN NHIỆT

12.2.1. Truyền nhiệt và phương trình can bằng nhiệt khi ổn định nhiệt

Truyền nhiệt theo nghĩa hẹp là tên gọi của hiện tương TĐN phức hopụ giữa 2 chất lỏng có nhiệt độ khác nhau, thông qua bề mặt ngăn cách của một vật rắn. Hiện tượng này thường hay gặp trong thực tế và trong các thiết bị TĐN.

Tuỳ theo đặc trưng pha của hai chất lỏng, các quá trình TĐN trên mặt W_1, W_2 của vật rắn có thể bao gồm 1 hoặc 2 phương thức đối lưu và bức xạ, còn trong vách chỉ xẩy ra dẫn nhiệt đơn thuần như mô tả trên hình 12.2.1. Khi vách ngăn ổn định nhiệt thì hệ phương trình mô tả lượng nhiệt Q truyền từ chất lỏng nóng (1) đến chất lỏng lạnh (20 sẽ có dạng:

$$Q = Q_{1w1} = Q_\lambda + Q_{2w2} \qquad (12\text{-}6)$$



H.12.2.1. Các dạng truyền nhiệt giữa 2 môi trường khác nhau

12.2.2. Truyền nhiệt qua vách phẳng

12.2.2.1. Vách phẳng có cánh

1. Bài toán: Tính lượng nhiệt truyền từ chất lỏng nóng có nhiệt độ t_{f1} đến chất lỏng lạnh có nhiệt độ t_{f2} thông qua vách phẳng dày δ_c, có mặt $F_1 = hl$ phẳng, mặt F_2 gồm n cánh có các thông số hình học (h_1, h_2, l) như hình 12.2.2.1., với các hệ số toả nhiệt phức hợp tại F_1, F_2 là α_1, α_2 cho trước.

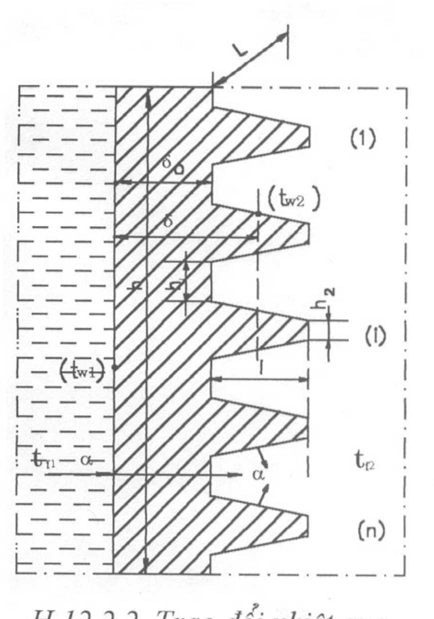
2. Lời giải: Coi nhiệt lượng Q_λ dẫn qua vách là nhiệt lượng qua vách phẳng có chiều dày tương đương $\delta = \delta_0 + \frac{nl}{2h}(h_1 + h_2)$, coi nnhiệt độ t_{w2} (chưa biết) phân bố đều trên mặt $F_2 = \left[h - n(h_1 - h_2) + n\sqrt{4l^2 + (h_1 - h_2)^2}\right]L$,

thì phương trình cân bằng nhiệt sẽ có dạng:

$$Q = \alpha_1(t_{f1} - t_{W1})F_1 = \frac{\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2})F_1 = \alpha_2(t_{W2} - t_{f2})F_2 \qquad (12\text{-}7)$$

Đây là hệ phương trình bậc 1 của 3 ẩn số $t_{w1,}$ t_{w1} và có nghiệm Q là:

$$Q = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}} \qquad (12\text{-}8)$$



H.12.2.2. Trao đổi nhiệt qua vách phẳng có n cánh

Nếu tính theo $1m^2$ bề mặt thì dòng nhiệt q_1 sẽ bằng:

$$q_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\frac{F_1}{F_2}} = k_{1c}(t_{f1} - t_{f2}) \qquad (12\text{-}9)$$

trong đó $\frac{F_2}{F_1} = 1 + \frac{n}{h}\sqrt{4l^2(h_1 - h_2)^2} - \frac{n}{h}(h_1 - h_2) = \varepsilon_c$ được gọi là hệ só làm cánh, thường $\varepsilon_c = (1 \div 5)$; $k_{1c} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right)^{-1}$, ($w/m^2K$) là hệ số truyền nhiệt qua vách phẳng có cánh , phụ thuộc vào các thông số: α_1, α_2, ε_c, δ, λ.

Vì luôn có k < min (α_1, α_2) nên để tăng k, người ta ưu tiên làm cánh về phía có α bé, thường là phía chất khí.

12.2.2.2. Vách phẳng không có cánh

1. Bài toán truyền nhiệt vách phẳng 1 lớp không có cánh là trường hợp đặc biệt của bài toán (12.2.2) nêu trên, khi số cánh n = 0. Lúc đó $\delta = \delta_0$, $F_1 = F_2 = hL$, $\varepsilon_c = 1$, lượng nhiệt truyền qua vách là:

$$Q = \frac{(t_{f1} - t_{f2})F}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = kF(t_{f1} - t_{f2}) \qquad (12\text{-}10)$$

với $k_{1c} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$, (w/m^{2}K) phụ thuộc vào các thông số: α_1, α_2, δ, λ.

2. Bài toán truyền nhiệt vách phẳng n lớp có nội dung và lời giải tương tự như bài toán (9.4.3), trong đó dòng nhiệt qua mọi lớp vách là:

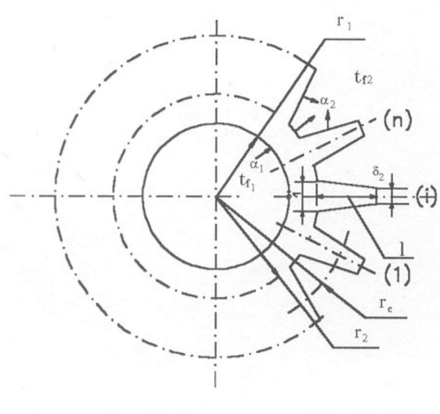
$$q = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = k_n (t_{f1} - t_{f2}) \qquad (12\text{-}11)$$

với hệ số truyền nhiệt $k_n = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$, phụ thuộc vào các thông số: α_1, α_2, δ, λ.

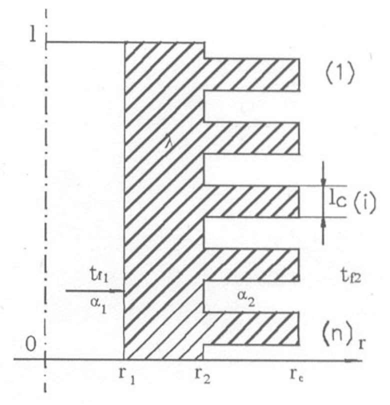
Khi muốn giảm cường độ truyền nhiệt k người ta cách nhiệt mặt vách bằng cách bọc nó bởi nhiều lớp vật liệu có λ nhỏ. Còn khi muốn tăng k, người ta có thể làm cánh phía có α bé, chẳng hạn phía chất khí. Công dụng của hai việc làm trên trái ngược nhau nên không ai làm cánh trên vách nhiều lớp.

12.2.3. Truyền nhiệt qua vách trụ

12.2.3.1. Vách trụ có cánh dọc



H.12.2.3.a. Trao đổi nhiệt qua vách trụ có n cánh dọc



H.12.2.3.b. Trao đổi nhiệt qua vách trụ có n cánh tròn ngang

1. Bài toán: Tính lượng nhiệt q_l truyền từ chất lỏng nóng có nhiệt độ t_{f1} đến chất lỏng lạnh có nhiệt độ t_{f2} qua 1m dài ống trụ bán kính trong là r_1, bán kính trong là r_2, trên r_2 có n cánh dọc trụ với các thông số hình học (δ_1, δ_2, l) như hình 12.2.3.1. cho biết hệ số toả nhiệt phức hợp với các chất lỏng là α_1, α_2.

Bài toán này thường gặp trong kỹ thuật, chẳng hạn khi làm mát vỏ mô tơ.

2. Lời giải: Coi nhiệt lượng q_1 dẫn qua vách là nhiệt lượng qua ống trụ có bán kính ngoài tương đương $r_c = r_2 \dfrac{nl(\delta_1 + \delta_1)}{4\pi r_2}$, coi nnhiệt độ t_{w2} (chưa biết) phân bố đều trên mặt $F_2 = \left[2\pi r_2 - n(\delta_1 - \delta_2) + n\sqrt{4l^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2}\right]$, ($m^2$) thì phương trình cân bằng nhiệt sẽ có dạng:

$$q_1 = q_{1\alpha 1} = q_{1\lambda} + q_{1w2} \tag{12-12}$$

sẽ có dạng:

$$q_1 = \alpha_1(t_{f1} - t_{W1})2\pi r_1 = \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\dfrac{1}{2\pi\lambda}\ln\dfrac{r_c}{r_1}} = \alpha_2(t_{W2} - t_{f2})F_2 \tag{12-13}$$

Đây là hệ phương trình bậc 1 của 3 ẩn số $t_{w1,}\, t_{w1}$ và có nghiệm q_1 là:

$$q_1 = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\dfrac{1}{2\pi r_1\alpha_1} + \dfrac{1}{2\pi\lambda}\ln\dfrac{r_c}{r_1} + \dfrac{1}{\alpha_2 F_2}}, \text{ (W/m).} \tag{12-14}$$

12.2.3.2. Vách trụ có cánh ngang

1. Bài toán: Tính lượng nhiệt q_1 truyền từ chất lỏng nóng có nhiệt độ t_{f1} đến chất lỏng lạnh có nhiệt độ t_{f2} qua 1m dài ống trụ bán kính trong là r_1, bán kính trong là r_2, trên r_2 có n cánh ngang dày l_c không đổi, bán kính đỉnh cánh r_c như hình 12.2.3.2. Cho biết hệ số toả nhiệt phức hợp với 2 chất lỏng là α_1, α_2.

Bài toán này thường gặp khi tính cho dàn lạnh hoặc caloriphe trong thiết bị TĐN.

2. Lời giải: Coi nnhiệt độ t_{w2} (chưa biết) phân bố đều trên mặt

$$F_2 = 2\pi r_2(l - nl_c) + 2\pi r_c nl_c + 2n\pi(r_c^2 - r_2^2), \text{ (m}^2\text{)} \tag{12-15}$$

thì phương trình cân bằng nhiệt sẽ có dạng:

$$Q = \alpha_1(t_{f1} - t_{W1})2\pi r_1 l = (t_{w1} - t_{w2})\left(\frac{l - nl_c}{\dfrac{1}{2\pi\lambda}\ln\dfrac{r_2}{r_1}} + \frac{nl_c}{\dfrac{1}{2\pi\lambda}\ln\dfrac{r_c}{r_1}}\right) = \alpha_2(t_{W2} - t_{f2})F_2 \tag{12-16}$$

Nếu đặt $n_c = \dfrac{nl_c}{l}$ **và** $F_{21} = \dfrac{F_2}{l} = 2\pi r_2(l - nl_c) + 2\pi r_c nl_c + 2\pi r_2(r_c^2 - nr_2^2)$ thì phương trình CBN $Q = Q_{\alpha 1} = Q_\lambda + Q_{\alpha 2}$ có dạng:

$$q_1 = (t_{f1} - t_{W1})2\pi r_1\alpha_1 = (t_{w1} - t_{w2})\left(\frac{1 - n_c}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}} + \frac{n_c}{\ln\dfrac{r_c}{r_1}}\right)2\pi\lambda = \alpha_2(t_{W2} - t_{f2})F_{21} \tag{12-17}$$

Sau khi khử t_{w1}, t_{w1}, sẽ tìm được q_1 ở dạng:

$$q_1 = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda}\ln\frac{r_2}{r_1}\left(1 - n_c \frac{\ln\frac{r_c}{r_2}}{\ln\frac{r_c}{r1}}\right) + \frac{1}{\alpha_2 F_{21}}}, \text{(W/m)}. \qquad (12\text{-}18)$$

12.2.2.2. Vách phẳng không có cánh

1. Bài toán truyền nhiệt vách trụ 1 lớp không có cánh là trường hợp đặc biệt của 2 bài toán trên, khi số cánh n = 0. Lúc đó $r_c = r_2$, $F_{21} = 2\pi r_2$ và dòng nhiệt q_1 có dạng:

$$q_1 = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda}\ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_2}}, \text{(W/m)}. \qquad (12\text{-}19)$$

2. Bài toán truyền nhiệt vách trụ n lớp, mỗi lớp có $r_i = r_{i+1}$ và λ_I được giải tương tự như bài toán (9.5.3), dòng nhiệt q_1 là:

$$q_1 = \frac{(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2\pi\lambda_i}\ln\frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha_2}}, \text{(W/m)}. \qquad (12\text{-}20)$$

Vách trụ nhiều lớp do con người làm ra thường không có cánh.

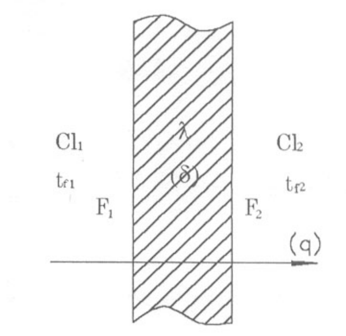
12.2.4. Tính α_1, α_2 và q trong bài toán truyền nhiệt thực tế

Trong các bài toán truyền nhiệt do thực tế đặt ra, các hệ số α_1, α_2 thường không biết trước mà phảI tính toán theo đIều kiện trao đổi nhiệt tại 2 mặt biên của vách. Việc tính toán α_1, α_2 dựa vào các công thức thực nghiệm tính α tại mặt vách sao cho thoả mãn các điều kiện cân bằng khi ổn định $q_{\alpha 1} = q_{\lambda 1} = q_{\alpha 2}$.

Phép tính α_1, α_2 và q với sai số $\varepsilon_q \le \varepsilon$ chọn trước có thể thực hiện theo chương trình như sau:

1) Chọn nhiệt độ theo mặt vách t_{w1},

- Tính $\alpha_1 = \frac{\lambda_1 Nu_1}{l_1}$ theo công thức toả nhiệt tại (F_1, Cl_1, t_{f1}, t_{w1}),



H.12.2.4. Bài toán truyền nhiệt thực tế

- Tính $q_{\alpha 1} = \alpha_1(t_{f1} - t_{w1})$,

2) Tính t_{w2} theo phương trình CBN $q_{\alpha_1} = \frac{\lambda}{\delta}(t_{f1} - t_{f2})$,

- Tính $\alpha_2 = \frac{\lambda_2 Nu_2}{l_2}$ theo công thức toả nhiệt tại (F_2, Cl_2, t_{f2}, t_{w2}),

- Tính $q_{\alpha 2} = \alpha_2(t_{w2} — t_{f2})$.

3) Tính sai số $\varepsilon_q = \left|1 - \dfrac{q_{\alpha 2}}{q_{\alpha 1}}\right|$,

- So sánh ε_q và ε đã chọn:

Nếu $\varepsilon_q > \varepsilon$ thì thay đổi t_{w1} và lặp lại các bước từ 1 đến 3. Nếu $\varepsilon_q \le \varepsilon$ thì coi kết quả trên là trị gần đúng với sai số ≤ ε và nếu lấy $q = \dfrac{1}{2}(q_{\alpha 1} + q_{\alpha 2})$.

Sai số chọn trước thường là ε = 5%.

* ***Chú ý:*** Nếu môi trường là chất khí hoặc chân không thì phải tính thêm dòng nhiệt bức xạ. Lúc đó α có thể tính theo công thức đã nêu trong mục (12.1.1) có dạng:

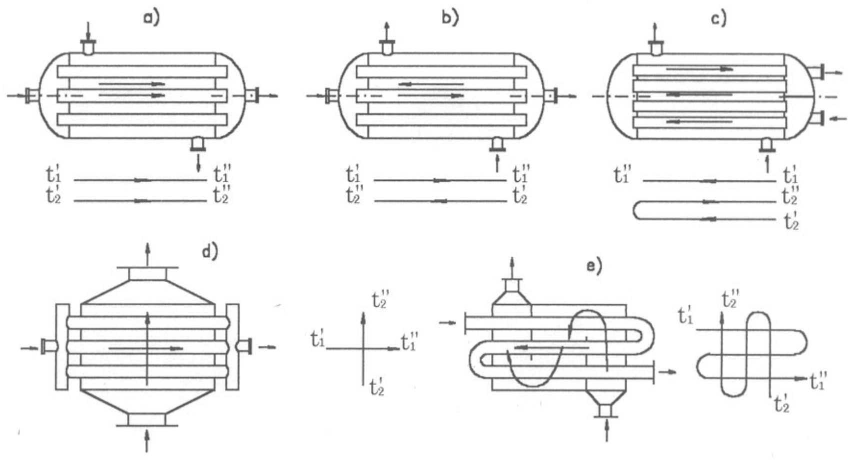
$$\alpha = \frac{\lambda_k Nu_k}{l_2} + \varepsilon_{wk}\delta_0 \frac{T_w^4 - T_k^4}{T_w - T_k}, \text{ (W/m}^2\text{K)},$$

Phép tính này không nên bỏ qua khi nhiệt độ nóng (T_k hoặc T_w) ≥ 400^0K.

12.3. THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT

12.3.1. Định nghĩa và phân loại

Thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN) là thiết bị trong đó thực hiện quá trình trao đổi nhiệt (TĐN) giữa các chất mang nhiệt, thường là chất lỏng, khgí hoặc hơi.



H.12.3.1. Các sơ đồ chuyển động của chất lỏng1, chất lỏng 2 trong TBTĐN vách ngăn

Theo đặc điểm trao đổi nhiệt, TBTĐN được chia ra 3 loại: loại vách ngăn, loại hồi nhiệt và loại hỗn hợp.

Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại vách ngăn, chất lỏng nóng (CL_1) bị ngăn cách hoàn toàn với chất lỏng lạnh (CL_2) bởi bề mặt vách hoặc ống bằng vật rắn và quá trình TĐN giữu (CL_1) với (CL_2) được thực hiện theo kiểu truyền nhiệt như đã giới thiệu ở mục (12.2).

Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại hồi nhiệt, vách TĐN được quay để nó tiếp xúc với CL_1 và CL_2 một cách tuần hoàn, khiến cho quá trình TĐN luôn ở chế độ không ổn định, và nhiệt độ trong vách luôn dao động tuần hoàn theo chu kỳ quay.

Trong thiết bị trao đổi nhiệt loại hỗn hợp, chất lỏng nóng tiếp xúc trực tiếp với chất lỏng lạnh, khiến cho quá trình trao đổi chất luôn xẩy ra đồng thời với quá trình TĐN giữa hai chất này.

Việc cách li hoàn toàn chất cần gia công với chất tải nhiệt là yêu cầu phổ biến của nhiều quá trình công nghệ, do đó TBTĐN loại vách ngăn được sử dụng rộng rãi trong sản xuất.

Theo chiều chuyển động của hai chất lỏng, TBTĐN loại vách ngăn được chia ra 2 kiểu chính: kiểu song song và kiểu giao nhau. Trong thiết bị trao đổi nhiệt kiểu song song, véc tơ vận tốc 2 chất lỏng song song nhau ($\overrightarrow{v_1} // \overrightarrow{v_2}$), có thể cùng chiều, ngược chiều hay thay đổi chiều hay gọi là song song hỗn hợp. Trong TBTĐN kiểu giaop nhau, 2 véc tơ $\overrightarrow{v_1}$, $\overrightarrow{v_2}$ giao nhau theo 1 góc φ nào đó khác $k\pi$, thường $(\overrightarrow{v_1}, \overrightarrow{v_2}) = \varphi = \frac{\pi}{2}$, có thể giao 1 lần hay nhiều lần. Các sơ đồ chuyển động như trên được giới thiệu ở hình 12.3.1.

12.3.2. Các phương trình cơ bản để tính nhiệt cho TBTĐN

Tính nhiệt cho TBTĐN là phép tính xác định mọi thông số cần thiếtcủa TBTĐN để nó thực hiện đúng quá trình TĐN giữa 2 chất lỏng mà công nghệ yêu cầu. Người ta thường qui ước dùng chỉ số 1 và 2 chỉ chất lỏng nóng và chất lỏng lạnh, dâu (‘) và (“) để chỉ thông số vào và ra khỏi thiết bị TĐN.

Việc tính nhiệt cho TBTĐN luôn dựa vào 2 phương trình cơ bản sau đây:

12.3.2.1. Phương trình cân bằng nhiệt

**** Phương trình cân bằng nhiệt tổng quát:***

Phương trình bảo toàn năng lượng hay Phương trình cân bằng nhiệt tổng quát cho mọi TBTĐN luôn có dạng:

$\sum Q = (\Delta I_1 + \Delta I_2 + Q_m)\tau + \Delta U = 0$, (J), trong đó:

$\Delta I_1 = G_1 (i_1'' - i_1') < 0$; (W) là biến thiên entanpi của chất lỏng nóng,

$\Delta I_2 = G_2 (i_2'' - i_2') > 0$; (W) là biến thiên entanpi của chất lỏng lạnh,

$Q_m = \sum k_i (\overline{t_i} - t_f)F_i$; (W) là tổng tổn thất nhiệt ra môI trường có nhiệt độ t_f qua mặt F_i của vỏ TBTĐN,

$\Delta U = \sum \rho_I V_i C_i (t_{i\tau} - t_0)$; (J) là tổng bến thiên nội năng của các kết cấu của TBTĐN từ lúc đầu có nhiệt độ t_0 đến lúc có nhiệt độ $t_{i\tau}$.

Trong các thiết bị gia nhiệt $Q_m > 0$ và $\Delta U > 0$, còn trong các thiết bị làm lạnh $Q_m < 0$ và $\Delta U < 0$. Nếu tính theo khối lượng riêng ρ ,(kg/m^3) , vận tốc v,m/s và tiết diện dòng chảy f,(m^2) thì biểu thức của lưu lượng G (kg/s) sẽ có dạng:

$$G = \rho\omega f.$$

Phương trình CBN tổng quát, liên hệ các thông số nêu trên sẽ có dạng:

$$\sum\rho_I V_i C_i(t_{i\tau} - t_0) + \tau[(\rho_1\omega_1 f_1(i_1'' - i_1') + \rho_2\omega_2 f_2(i_2'' - i_2') + \sum k_i(\overline{t_i} - t_f)F_i] = 0.$$

Phương trình này cho phép tìm được 1 đại lượng chưa biết nào đó, ví dụ thời gian τ để khởi động thiết bị, khi có thể xác định tất cả các đại lượng còn lại.

**** Phương trình cân bằng nhiệt khi ổn định:***

Trên thực tê, người ta thường tính nhiệt cho TBTĐN khi nó đã làm việc ổn định, với $\Delta U = 0$. Về lý thuyết , nếu giả thiết $Q_m = 0$ thì phương trình CBN có dạng:

$$\Delta I_1 = \Delta I_2 \text{ , hay } G_1 (i_1'' - i_1') = G_2 (i_2'' - i_2'), \text{(W)}.$$

Nếu chất lỏng không chuyển pha thì phương trình CBN có dạng:

$$G_1 C_{p1}(t_1' - t_1'') = G_2 C_{p2} (t_2'' - t_2'), \text{(W)}.$$

Nếu gọi $GC_p = \rho\omega f C_p = C$ là nhiệt dung (hay đương lượng nước) của dòng chất lỏng thì phương trình trên có dạng:

$$C_1(t_1' - t_1'') = C_2(t_2'' - t_2') \text{ hay } C_1\delta t_1 = C_2\delta t_2, \text{(W)},$$

Ở dạng vi phân, trên mỗi phân tố diện tích dF của mặt TĐN, thì phương trình CBN có dạng:

$$- C_1 dt_1 = C_2 dt_2, \text{(W)},$$

Nếu chất lỏng là hơI quá nhiệt có C_{p11} , t_1' vào TBTĐN, được làm nguội đến nhiệt độ ngưng tụ t_s, ngưng tụ hoàn toàn và toả ra lượng nhiệt r thành nước ngưng có nhiệt dung riêng C_{p12} rồi giảm nhiệt độ đến $t_2'' > t_s$ có nhiệt dung riêng C_{p22} thì phương trình CBN có dạng:

$$G_1 C_{p1}(t_1' - t_1'') = G_2 [C_{p21} (t_s - t_2') + r + C_{p21} (t_2'' - t_s)], \text{(W)}.$$

Đây là phương trình CBN cho lò hơi hay tuốc bin hơi.

12.3.2.2. P hương trình truyền nhiệt:

Dạng vi phân: Lượng nhiệt δQ truyền từ chất lỏng nóng t_1 đến chất lỏng lạnh t_2 qua phân tố diện tích dF_x của mặt vách có dạng:

$$\delta Q = k (t_1 - t_2) dF_x = k \Delta t_x dF_x \text{ , (W)},$$

trong đó: $k = f(\alpha_1, \alpha_2, \lambda, \delta)$, (W/m^{2}K), là hệ số truyền nhiệt qua vách , thường được coi là không đổi trên toàn mặt F,

$\Delta t_x = (t_1 - t_2)$ là độ chênh nhiệt độ 2 chất lỏng ở 2 bên mặt dF_x phụ thuộc vào vị trí của dF_x , tức là $\Delta t_x = f(F_x)$.

Dạng tích phân: Lượng nhiệt Q truyền qua diện tích F của vách có thể tính:

$$Q = \int_F k\Delta t_x dF_x = k\int_0^F \Delta t_x (F_x) dF_x = kF\overline{\Delta t} \text{ , (W)},$$

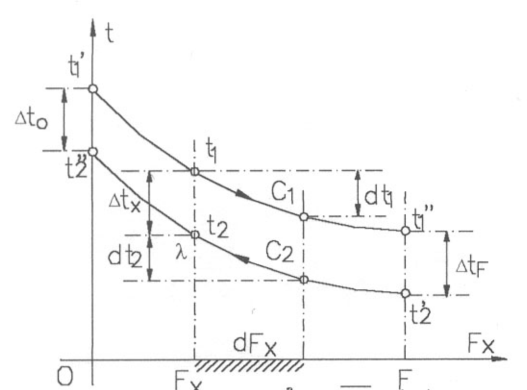
với: $\overline{\Delta t} = \dfrac{1}{F}\int_0^F \Delta t_x(F_x)dF_x$ gọi là độ chênh trung bình trên mặt F của nhiệt độ 2 chất lỏng.

12.3.3. Xác định độ chênh trung bình $\overline{\Delta t}$

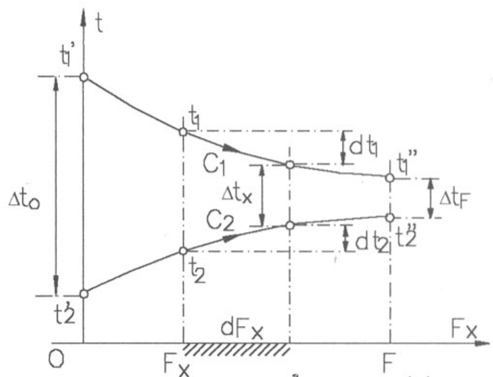
12.3.3.1. Sơ đồ song song ngược chiều

Phương trình CBN và truyền nhiệt qua dF_x theo sơ đồ song song ngược chiều trên đồ thị $(t\text{-}F_x)$ ở hình 12.3.3.1 có dạng:

$$\begin{cases} \delta Q = -C_1 dt_1 = -C_2 dt_2 \\ \delta Q = k\Delta t_x dF_x \end{cases},$$



H.12.3.3.1. Để tìm $\overline{\Delta t}$ ↑↓



H.12.3.3.2. Để tìm Δt ↑↑

Từ đó ta có:

$$dt_1 = dt_1 = -\left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}\right).\delta Q,$$

hay: $d\Delta t_x = -mk\Delta t_x dF_x$,

với $m = -\left(\dfrac{1}{C_1} - \dfrac{1}{C_2}\right)$, (K/W).

Nếu m và k không đổi thì:

$$\int_{\Delta t_0}^{\Delta t_x} \frac{d\Delta t_x}{\Delta t_x} = -mk\int_0^F dF_x \text{, hay:}$$

$$\ln\frac{d\Delta t_x}{\Delta t_x} = -mkdF_x \ \textbf{hay} \ \Delta t_x = \Delta t_0 e^{-mkF_x}$$

Theo định nghĩa $\overline{\Delta t}$ ta có:

$$\overline{\Delta t_x} = \frac{1}{F}\int_0^F \Delta t_x dF_x = \frac{\Delta t_0}{F}\int_0^F e^{-mkF_x}dF_x = \frac{\Delta t_0}{-mkF}(e^{-mkF_x} - 1)$$

Thay quan hệ $\Delta t_F = \Delta t_0 e^{-mkF}$ vào trên ta được:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_0}{\ln\frac{\Delta t_0}{\Delta t_F}}\left(\frac{\Delta t_F}{\Delta t_0} - 1\right) = \frac{\Delta t_F - \Delta t_0}{\ln\frac{\Delta t_F}{\Delta t_0}},$$

Với $\Delta t_0 = t_1^{'} — t_2^{"}$; $\Delta t_F = t_1^{"}$- $t_2^{'}$ là độ chênh nhiệt độ tại hai đầu mặt truyền nhiệt.

12.3.3.1. Sơ đồ song song cùng chiều

Từ hệ phương trình CBN

$$\begin{cases} \delta Q = -C_1 dt_1 = -C_2 dt_2 \\ \delta Q = k\Delta t_x dF_x \end{cases},$$

biến đổi như trên, với m = $\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$,

sẽ được:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_F - \Delta t_0}{\ln\frac{\Delta t_F}{\Delta t_0}},$$

Với $\Delta t_0 = t_1^{'}$ - $t_2^{'}$; $\Delta t_F = t_1^{"}$- $t_2^{"}$ là độ chênh Δt_x tạ $F_x = 0$ và $F_x = F$.

12.3.3.3. Các sơ đồ khác

Biểu thức $\overline{\Delta t}$ của các sơ đồ khác (song song đổi chiều, giao nhau 1 hay n lần) được tính theo sơ đồ song song ngược chiều rồi nhân với hệ số $\varepsilon_{\Delta t}$ cho từng sơ đồ bởi đồ thị:

$$\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R);$$

trong đó $P = \frac{t_2^{"} - t_2^{'}}{t_1^{'} - t_2^{'}} = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{max}}$ và $R = \frac{t_1^{'} - t_1^{"}}{t_2^{"} - t_2^{'}} = \frac{\delta t_1}{\delta t_2}$

12.3.4. Tính nhiệt độ của các chất ra khỏi TBTĐN

Khi tính kiểm tra hoặc tính chọn 1 TBTĐN có sẵn, thường cho biết $t_1^{'}$, $t_2^{'}$, k, C_1, C_2 và cần tính nhiệt độ $t_1^{"}$, $t_2^{"}$ ra khỏi TBTĐN để xem nhiệt độ có phù hợp với công nghệ hay không. Phép tính này có thể thực hiện cho các sơ đồ song song không đổi chiều như sau:

12.3.4.1. Sơ đồ song song ngược chiều

Tại $F_x = F$, phương trình $\Delta t_x = \Delta t_0 e^{-mkF_x}$ sẽ có dạng:

$$\frac{\Delta t_F}{\Delta t_0} = e^{-mkF_x} \quad \text{hay} \quad \frac{t_1'' - t_2'}{t_1' - t_2''} e^{\frac{kF}{C_1}\left(1-\frac{C_1}{C_2}\right)} = e^{-N(1-n)},$$

với $N = \frac{kF}{C_1}$ và $n = \frac{C_1}{C_2}$ là các số khong thứ nguyên.

Sau khi trừ 2 vế của đẳng thức trên cho 1 và khử mẫu số ta được:

$(t_2''- t_2') — (t_1' — t_1'') = [(t_1' - t_2') - (t_2''- t_1'')] [e^{-N(1-n)} - 1]$.

Nếu gọi $\delta t_1 = (t_1' — t_1'')$, $\delta t_2 = (t_2''- t_2')$, khi kết hợp phương trình trên với phương trình cân bằng nhiệt ta có hệ sau:

$$\begin{cases} \delta \mathbf{t_2} - \delta \mathbf{t_1} = \left[(t_1' - t_2'') - \delta \mathbf{t_2}\right]\left[e^{-N(1-n)} - 1\right] \\ C_1\delta \mathbf{t_1} = C_2\delta \mathbf{t_2} \end{cases}$$

Đây là hệ 2 phương trình bậc 1 của 2 ẩn δt_1 và δt_2 , có nghiệm là:

$$\begin{cases} \delta \mathbf{t_1} = (t_1' - t_2'')\dfrac{1 - e^{-N(1-n)}}{1 - ne^{-N(1-n)}} = (t_1' - t_2'')Z(n, N) \\ \delta \mathbf{t_2} = (t_1' - t_2'')nZ(n, N) \end{cases}$$

Nhờ đó tìm được: Nếu gọi $t_1'' = t_1' - \delta t_1$, $t_2'' = t_2' + \delta t_2$.

12.3.4.2. Sơ đồ song song cùng chiều

Với các ký hiệu N, n, δt_1 , δt_2 và cách chứng minh như trên, sẽ thu được hệ phương trình:

$$\begin{cases} \delta \mathbf{t_2} + \delta \mathbf{t_1} = (t_1' - t_2'')\left[1 - e^{-N(1+n)}\right] \\ C_1\delta \mathbf{t_1} = C_2\delta \mathbf{t_2} \end{cases},$$

Các nhiệt độ ra tính theo δt_1 , δt_2 sẽ có dạng:

$$t_1'' = t_1' - \delta t_1 = t_1' — (t_1' — t_2')\frac{1 - e^{-N(1+n)}}{1 + n} = t_1' — (t_1' — t_2')P(n,N)$$

$$t_2'' = t_2' + \delta t_2 = t_2' + (t_1' — t_2')nP(n,N).$$

Khi chất lỏng sôI, ví dụ trong lò hơI hoặc thiết bị bốc hơi thì $t_2' = t_2'' = t_s$.

$C_2 = G_2C_{p2} = \infty$ nên $n = \frac{C_1}{C_2} = 0$, do đó $t_1'' = t_1' — (t_1' — t_s)(1 — e^{-N})$.

12.3.4.3. So sánh công suất nhiệt của sơ đồ cùng chiều và ngược chiều

Tỷ số các công suất nhiệt của TBTĐN theo sơ đồ song song cùng chiều $Q_p = C_1\delta t_{1p}$ và khi ngược chiều $Q_z = C_1\delta t_{1z}$ sẽ có dạng:

$$\frac{Q_p}{Q_z} = \frac{\left[1 - e^{-N(1+n)}\right]\left[1 - ne^{-N(1-n)}\right]}{(1 - n)\left[1 - e^{-N(1-n)}\right]} < 1.$$

Khi có cùng chỉ số n và N, công suất trao đổi nhiệt của sơ đồ song song ngược chiều luôn lớn hơn công suất nhiệt của sơ đồ song song cùng chiều. **./.**