

## Chương 1: CÁC KHÁI NIỆM VỀ MẠNG NHIỆT

### 1.1. Định nghĩa, ví dụ về mạng nhiệt (MN).

#### 1.1.1. Hộ cấp và hộ tiêu dùng nhiệt - lạnh

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt (TBTĐN), để nung nóng hay làm lạnh một sản phẩm (SP) nào đó, người ta cho nó TĐN với một chất trung gian nào đó. Ví dụ: hơi nước hay gas lạnh, gọi là tác nhân mang nhiệt hay lạnh.

- Hộ cấp nhiệt (lạnh) là thiết bị sản sinh ra tác nhân nhiệt (lạnh). Ví dụ hộ cấp nhiệt là lò hơi tạo ra hơi nước, buồng đốt tạo ra khí nóng (sản phẩm cháy – SPC) để cấp cho thiết bị sấy sản phẩm.

Ví dụ hộ cấp lạnh là tổ hợp máy nước - bình ngưng sản sinh ra gas lỏng cao áp để cấp cho thiết bị làm lạnh hoặc Water chiller cung cấp nước lạnh để điều hoà không khí.

- Hộ tiêu thụ nhiệt (lạnh) là TBTĐN sử dụng tác nhân nhiệt (lạnh) để gia nhiệt (hay làm lạnh) sản phẩm.

Ví dụ hộ tiêu thụ nhiệt là dàn caloripher sử dụng hơi để gia nhiệt không khí.

Ví dụ hộ tiêu thụ lạnh là tủ cấp đông sử dụng môi chất lạnh lỏng cao áp để làm đông lạnh thực phẩm.

#### 1.1.2. Phụ tải nhiệt

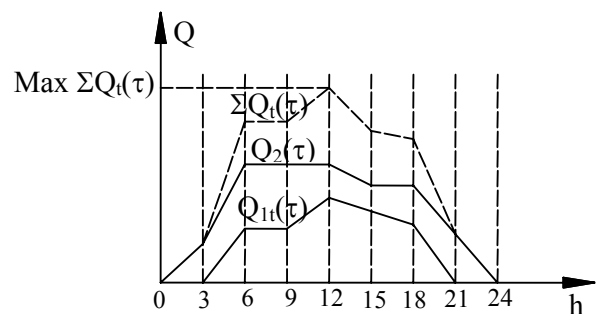
Phụ tải nhiệt  $Q[W]$  là lượng nhiệt cần cấp vào hộ tiêu thụ hoặc sinh ra từ hộ cấp, trong một đơn vị thời gian.

$Q$  là công suất do tác nhân nhiệt (lạnh) mang vào hoặc lấy ra từ thiết bị trao đổi nhiệt, còn gọi là công suất của thiết bị.

- Để xác định phụ tải nhiệt  $Q$ , ta dựa vào phương trình cân bằng nhiệt cho sản phẩm và môi chất trong TBTĐN, trên cơ sở yêu cầu của công nghệ sản xuất.

- Theo yêu cầu công nghệ sản xuất, thường phụ tải nhiệt  $Q$  thay đổi theo thời gian,  $Q = Q(\tau)$ .

Để tính chọn phụ tải  $Q$  cho một hộ cấp nhiệt cần cộng tất cả các phụ tải  $Q_i(\tau)$  của các hộ tiêu thụ, rồi chọn  $Q$  theo nguyên tắc:  $Q \geq \sum Q_i(\tau)$ , như ví dụ trên hình 1.1



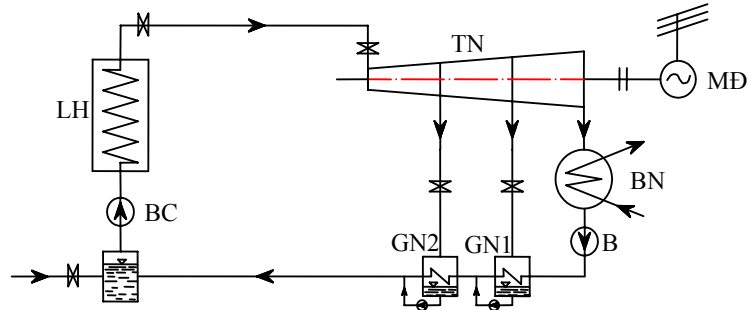
Hình 1.1: Đồ thị phụ tải  $Q(\tau)$

- Đối với các thiết bị làm việc không liên tục, ví dụ làm việc theo mẻ, theo mùa, vụ người ta có thể tính phụ tải nhiệt theo đơn vị kJ/ mẻ, MJ/ mùa(vụ).

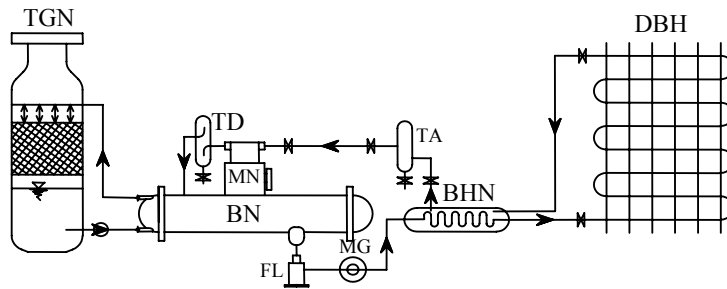
### 1.1.3. Mạng nhiệt.

- Định nghĩa: Mạng nhiệt là hệ thống đường ống và các phụ kiện dẫn môi chất lưu động giữa hộ cấp và hộ tiêu thụ nhiệt lạnh.

Các phụ kiện là các thiết bị dùng để duy trì và điều khiển sự lưu động của môi chất, như bình chứa, bình góp, bơm quạt, các loại van, thiết bị pha trộn, tê cắt, giá treo đỡ ống, cơ cấu bù nở nhiệt, v v...



**Hình 1.2: Sơ đồ mạng nhiệt trong nhà máy nhiệt điện**



**Hình 1.3: Sơ đồ mạng nhiệt trong hệ thống lạnh**

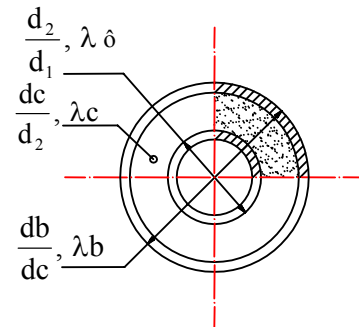
Ví dụ về mạng nhiệt trong nhà máy nhiệt điện và hệ thống lạnh được mô tả trên hình 1.2 và hình 1.3.

## 1.2. Kết cấu đường ống

### 1.2.1. Cấu tạo ống dẫn.

Mặt cắt ngang ống dẫn thường có cấu tạo như hình 1.4, gồm 3 lớp vật liệu: ống, lớp cách nhiệt, lớp bảo vệ.

Đường kính trong  $d_1$  của ống được tính theo lưu lượng  $G$ , vận tốc  $\omega$  và khối lượng riêng môi chất theo quan hệ:



**Hình 1.4: Cấu tạo ống dẫn**

$$G = \rho \omega f = \rho \omega \frac{\pi}{4} d_1^2 \text{ hay } d_1 = 2 \sqrt{\frac{G}{\pi \rho \omega}} \text{ với } \omega [\text{m/s}] \text{ chọn theo loại môi chất. Chất}$$

khí  $\omega \in [4 \div 75] \text{ m/s}$  tăng theo áp suất và độ quá nhiệt.

### 1.2.2. Các yêu cầu về ống dẫn.

1) Chịu được nhiệt độ, áp suất và tính ăn mòn của môi chất khi làm việc. Khi t, p cao, phải dùng ống kim loại không hàn mép, nối ống bằng hàn hoặc bích.

2) Có lớp cách nhiệt bằng vật liệu có  $\lambda$  bé, chịu được nhiệt độ vỏ ống, ít hút ẩm, ít mao dẫn, bền lâu.

3) Có lớp bảo vệ ngoài cùng để cách ẩm chỗ ướp lớp cách nhiệt, chịu được tác động của môi trường xung quanh (không khí, đất, nước...).

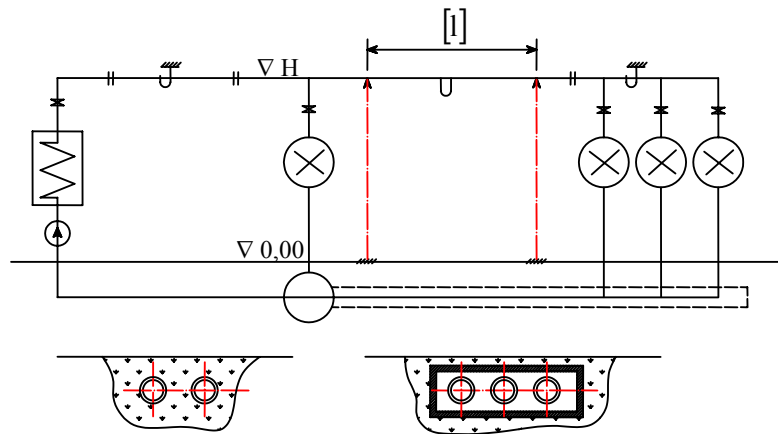
### 1.2.3. Lắp đặt đường ống.

- Tùy theo công nghệ sản xuất và địa bàn nhà máy, khi lựa chọn vị trí lắp đặt đường ống cần chú ý:

1) Bố trí hệ cấp, hệ tiêu thụ hợp lý.

2) Đường ống ngắn, gọn, ít tê cắt bảo đảm giảm tổn thất nhiệt và thủy lực.

3) Không cản trở không gian làm việc, ít ảnh hưởng môi trường.



Hình 1.5: Các vị trí lắp đặt đường ống

- Vị trí đặt đường ống có thể trong không khí (trong nhà, ngoài trời) dưới mặt đất (ngầm trong đất) hoặc dưới mặt nước (trong nước, trong ống ngầm).

Khi đặt ống ngoài trời cần chống ảnh hưởng của mưa gió. Khi đặt ống ngầm cần chống ảnh hưởng của nước ngầm và tác dụng ăn mòn của môi trường.

### 1.3. Vị trí treo đỡ ống.

#### 1.3.1. Yêu cầu của việc treo đỡ ống

Khi đặt ống trong không khí cần sử dụng các móc treo, giá đỡ hoặc trụ đỡ nhằm giữ cho ống được an toàn và ổn định khi làm việc. Các kết cấu treo đỡ có cấu tạo theo quy phạm an toàn, cần bảo đảm yêu cầu sau:

- Giữ cho ống an toàn dưới tác dụng của trọng lực và gió bão
- Chống rung động và biến dạng đường ống.

#### 1.3.2. Xác định vị trí cần treo đỡ ống.

Để bảo đảm yêu cầu trên, khoảng cách lớn nhất giữa 2 điểm treo đỡ ống là:

$$[l_t] = \sqrt{12\varphi\eta\delta_{cp}^* \frac{W}{q}}, \text{ (m)}$$

với :  $\varphi = 0,8$  ;  $\eta = (0,4 \div 0,5)$

$\delta_{cp}^*[\text{N/m}^2]$  là ứng suất định mức cho phép của vật liệu ống tại nhiệt độ làm việc cực đại.

$W = 0,1 \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_1}$  ;  $[\text{m}^3]$  là mô men bèn tương đương của ống.

$q = \sqrt{q_1^2 + q_2^2}$  ,  $[\text{N/m}]$  là lực tác động trên 1m ống,

Trong đó:

$q_1$  là trọng lượng trên một mét ống (ống, môi chất, vật liệu cách nhiệt)

$$q_1 = g[\rho_o \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2) + \rho_{MC} \frac{\pi}{4} d_1^2 + \rho_c \frac{\pi}{4}(d_c^2 - d_2^2)], \text{ [N/m]}$$

$q_1 = kd_c \frac{\rho\omega^2}{2}$  ,  $[\text{N/m}]$  là lực đẩy 1m ống do gió có vận tốc lấy bằng  $\omega = 30$

m/s, khối lượng riêng  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , với hệ số khí động  $k = (1,4 \div 1,5)$  .

$d_c$  (m) là đường kính ngoài lớp bảo vệ hay cách nhiệt.

Tóm lại, nếu đường ống dài  $l \geq l_t$  hay  $l \geq \left[ \frac{12\varphi\eta\delta_{cp}^* (d_2^4 - d_1^4)}{5d_1 \sqrt{4q_1^2 + k^2 d_c^2 \rho^2 \omega^4}} \right]^{\frac{1}{2}}$  , [m]

thì cần chọn thêm một điểm treo đỡ ống.

**1.3.3. Ví dụ:** Tính  $[l_t]$  cho ống thép C10 có  $\delta_{cp}^*(t = 250^\circ\text{C}) = 11,2 \text{ kG/mm}^2 = 11,2 \cdot 9,81 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 1,1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  với  $d_2/d_1 = 60/50 \text{ mm}$ ,  $d_c = 70 \text{ mm}$ ,  $\rho_o = 7850 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{MC} = 4,16 \text{ kg/m}^3$  đặt trong không khí. Ta có :

$$W = 0,1 \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_1} = 0,1 \frac{(60^4 - 50^4) \cdot 10^{-3 \times 4}}{50 \cdot 10^{-3}} = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

$$q_1 = 67,8 \text{ N/m}.$$

$$q_2 = kd_c \frac{\rho\omega^2}{2} = 1,5 \cdot 0,07 \cdot \frac{1,2 \cdot 30^2}{2} = 56,7 \text{ N/m}.$$

$$q = \sqrt{67,8^2 + 56,7^2} = 88,4 \text{ N/m}.$$

$$[l] = (12 \cdot \varphi \cdot \eta \cdot \delta_{cp} \cdot \frac{w}{q})^{\frac{1}{2}} = (1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,45 \cdot 1,1 \cdot 10^8 \cdot \frac{1,34 \cdot 10^{-5}}{88,4})^{\frac{1}{2}} = 8,49 \text{ m.}$$

Thực tế nếu  $l > 8 \text{ m}$  thì cần có giá treo đỡ.

#### 1.4. Tính bù nở nhiệt.

##### 1.1.4. Hiện tượng nở đều và ứng suất nhiệt.

Một ống dài  $l$ , khi nhiệt độ tăng lên  $\Delta t$  thì nở dài thêm đoạn  $\Delta l = l\alpha\Delta t$ , với hệ số nở dài  $\alpha = \frac{\Delta l}{l\Delta t}$  [1/K] phụ thuộc loại vật liệu. Với thép các bon thì  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} 1/K$ .

Khi đó trong ống phát sinh ứng suất nhiệt  $\delta$  tính theo định luật Hook

$$\delta = E\varepsilon = E \cdot \frac{\Delta x}{l} = E\alpha\Delta t. \text{ Với thép các bon thì } \delta = 2,35\Delta t \text{ Mpa} = 24\Delta t \text{ kG/cm}^2.$$

Lực nén sinh ra khi có ứng suất nhiệt là:

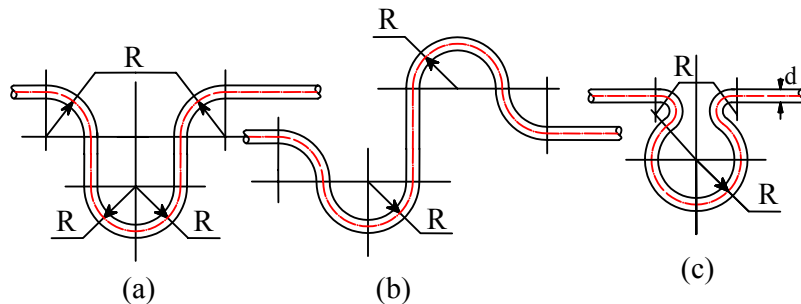
$$p = \delta f = \delta \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi \Delta l}{4 l} (d_2^2 - d_1^2), [\text{N}].$$

Ứng suất nhiệt khi quá giới hạn cho phép có thể gây ra nứt, gãy ống, làm hư hỏng thiết bị và gây sự cố nguy hiểm.

Để khắc phục tình trạng này ta dùng cơ cấu bù nhiệt.

##### 1.4.2. Các cơ cấu bù nhiệt cho ống

Để bù nở nhiệt đường ống ta dùng cơ cấu bù nhiệt hàn vào giữa đường ống. Cơ cấu này gồm một ống liền được uốn cong hình chữ U, chữ S hoặc chữ  $\Omega$  với các bán kính cong  $R$  xác định



**Hình 1.6: Các cơ cấu bù nhiệt: chữ U (a), chữ S (b), chữ  $\Omega$  (c)** theo qui phạm, phụ thuộc đường ống và vật liệu.

Khoảng cách cần đặt bù nhiệt là:

$$l > [l_b] = \frac{\delta}{\mu q} \left[ \sqrt{(\varphi \delta_{cp}^*)^2 - \frac{3}{4} \left( p \frac{d_2}{2\delta} \right)^2} - \frac{p d_2}{4\delta} \right], [\text{m}].$$

với  $\delta = \frac{1}{2}(d_2 - d_1)$  [m] là chiều dài ống

$q$  là áp suất trên mặt kê ống,  $q = \text{trọng lượng ống} / \text{diện tích kê} = \frac{q_1[l_t]}{d_2 b}$ , [N/m<sup>2</sup>].

$\varphi \delta_{cp}^*$  [N/m<sup>2</sup>] là ứng suất cho phép của vật liệu ống,  $\varphi = 0,8$ .

$p$  [N/m<sup>2</sup>] là áp suất môi chất trong ống.

$d_2$  [m] là đường kính ngoài ống dẫn môi chất.

#### 1.4.3. Ví dụ:

Tính  $[l_b]$  cho đường ống như ở ví dụ 1.3.3 nói trên, khi chọn mặt kê có diện tích  $d_2.b = (0,06.0,1)$  m<sup>2</sup> với hệ số ma sát  $\mu$  thép = 0,18 sẽ có:

$$\delta = \frac{1}{2}(d_2 - d_1) = \frac{1}{2}(60 - 50).10^{-3} = 0,005\text{m.}$$

$$q = \frac{q_1[l_t]}{d_2 b} = \frac{67,8.8,49}{0,06.0,1} = 95937 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned} [l_b] &= \frac{\delta}{\mu q} \left[ \sqrt{(\varphi \delta_{cp}^*)^2 - \frac{3}{4} \left( p \frac{d_2}{2\delta} \right)^2} - \frac{p d_2}{4\delta} \right] \\ &= \frac{0,005}{0,18.95937} \left[ \sqrt{(0,8.1,1.10^8)^2 - \frac{3}{4} \left( \frac{8.10^5.0,06}{2.0,005} \right)^2} - \frac{8.10^5.0,06}{4.0,005} \right] \\ &= 24,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Chú ý: - Các mặt kê đặt, treo đỡ cần tiếp xúc mặt ống  $d_2$  để khỏi làm móp vỏ bảo ôn.

- Phần thấp của cơ cấu bù nhiệt cần lắp van xả nước ngưng.

## Chương 2

### TÍNH NHIỆT CHO MẠNG NHIỆT

#### 2.1. Mục đích và cơ sở tính nhiệt cho mạng nhiệt.

##### 2.1.1. Mục đích tính nhiệt cho mạng nhiệt:

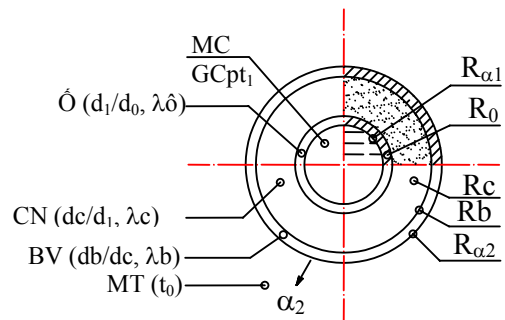
- 1) Xác định tổn thất nhiệt, tức lượng nhiệt truyền qua ống ra môi trường, qua từng ống và toàn mạng nhiệt.
- 2) Xác định phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang ống, trong môi chất nhiệt và trong môi trường quanh ống.
- 3) Xác định luật thay đổi nhiệt độ môi chất dọc ống, tính nhiệt độ môi chất ra khỏi ống.
- 4) Xác định sự chuyển pha của môi chất dọc ống tức là tìm vị trí xảy ra sự ngưng tụ hay sôi hoá hơi, lượng môi chất đã chuyển pha.
- 5) Để chọn kết cấu cách nhiệt thích hợp.

##### 2.1.2. Cơ sở để tính nhiệt cho mạng nhiệt

Để tính nhiệt cho mạng nhiệt, người ta dựa vào phương trình truyền nhiệt, phương trình cân bằng nhiệt, kết cấu đường ống cùng môi chất và môi trường.

##### 2.1.2.1. Kết cấu đường ống, môi chất và môi trường.

Mặt cắt ngang đường ống thường có kết cấu như hình 2.1: Bên trong là môi chất có thông số cho trước  $GC_{pt_1}$ , tiếp theo là ống dẫn có  $d_1/d_0$ ,  $\lambda_0$ , ngoài ống là lớp cách nhiệt có  $\lambda_c$ ,  $\delta_c$ , ngoài cùng là lớp bảo vệ có  $\lambda_b$ ,  $\delta_b$ , môi trường xung quanh có nhiệt độ  $t_0$ .



Hình 2.1: Mặt cắt ống dẫn

##### 2.1.2.2. Phương trình truyền nhiệt.

\* Để tính tổn thất nhiệt trên một mét ống dùng công thức:

$$q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_l} ; [W/m] \text{ với}$$

$t_1$  là nhiệt độ môi chất,  $[^{\circ}C]$ .

$t_0$  là nhiệt độ môi trường,  $[^{\circ}C]$ .

$R_l$  là tổng nhiệt trở truyền nhiệt qua một mét ống,  $[mK/W]$ .

$R_l = \Sigma R_{li} = R_{\alpha 1} + R_o + R_c + R_b + R_{\alpha 2}$  hay:

$$R_l = \frac{1}{\pi d_o \alpha_1} + \frac{1}{2\pi \pi_o} \ln \frac{d_1}{d_o} + \frac{1}{2\pi \pi_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{2\pi \pi_b} \ln \frac{d_b}{d_c} + \frac{1}{\pi d_b \alpha_2}.$$

\* Trong tổng trên,  $R_c$  và  $R_{\alpha 2}$  luôn có trị số đáng kể không thể bỏ qua. Các nhiệt trở khác có thể bỏ qua khi đáp ứng điều kiện sau:

1) Khi môi chất là chất lỏng hay chất khí có vận tốc  $\omega \geq 5\text{m/s}$ , thì  $\alpha_1$  khá lớn cho phép coi  $R_{\alpha 1} = 0$ .

2) Khi ống bằng kim loại mỏng, với  $d_1/d_o \leq 2$  và  $\lambda_{\delta} \geq 30\text{W/mK}$ , thì  $R_c \leq \frac{1}{2\pi \cdot 30} \ln 2 = 0,0037 \text{ mK/W}$ , có thể coi  $R_{\delta} = 0$ .

3) Khi lớp bảo vệ bằng vật liệu mỏng, coi  $d_b = d_c$  và  $R_b = 0$ .

\* Tính tổn thất nhiệt trên một ống dài  $l[\text{m}]$ , có thể tính theo:

$Q = l q_l$ ;  $[\text{W}]$ , khi  $q_l = \text{const}$ ,  $\forall x \in [0, l]$ .

$Q = \int_0^l q_l(x) dx$  khi  $q_l$  thay đổi trên trục  $x$  của ống, (do nhiệt độ môi chất thay đổi

dọc ống).

### 2.1.2.3. Phương trình cân bằng nhiệt

Phương trình cân bằng nhiệt cho môi chất chảy trong ống ổn định nhiệt là

(Biến thiên Entanpy môi chất qua ống )

= (tổn thất nhiệt qua ống do truyền nhiệt).

\* Phương trình cân bằng nhiệt và tích phân cho môi chất trong đoạn ống  $dx$  là:

$dI = \delta Q$  hay  $G di = q_l dx$  (dạng tổng quát).

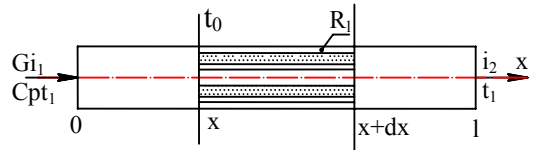
Nếu môi chất không chuyển pha, bị làm nguội do toả nhiệt thì phương trình cân bằng

nhiệt có dạng:  $-GC_p dt = \frac{t - t_o}{R_l} dx$ .

\* Phương trình cân bằng nhiệt tích phân cho đoạn ống dài  $l(\text{m})$  là:

$$\Delta I = Q \text{ hay } G(i_1 - i_2) = \int_0^l \frac{t(x) - t_o}{R_l} dx = l \overline{q_l}$$

Nếu môi chất không đổi pha thì:  $GC_p(t_1 - t_2) = \int_0^l q_l(x) dx$ ,  $[\text{W}]$ .



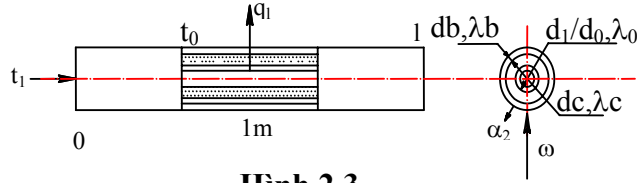
Hình 2.2



## 2.2. Tính nhiệt đường ống đặt trong không khí ngoài trời.

### 2.2.1. Mô tả bài toán.

Xét môi chất một pha  
nhiệt độ  $t_1$  chảy qua ống chiều  
dài  $l$  có các thông số của ống:  
 $d_1/d_0$ ,  $\lambda_0$ , của lớp cách nhiệt  $d_c$ ,



Hình 2.3

$\lambda_c$ , của lớp bảo vệ  $d_b$ ,  $\lambda_b$  đặt trong không khí nhiệt độ  $t_0$ .

### 2.2.2. Tính các hệ số toả nhiệt với môi chất và môi trường

\* Trong trường hợp tổng quát, hệ số trao đổi nhiệt  $\alpha_1$  với môi chất là chất khí, và với môi trường là  $\alpha_2$  sẽ được tính theo phương pháp lặp. Các bước tính lặp gồm:

1) Chọn nhiệt độ mặt trong ống  $tw_1$ .

Tính  $\alpha_1$  theo công thức TN toả nhiệt cường bức  $\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_0} Nu_1(ReGrPr)_1$ .

Tính  $\alpha_{1\varepsilon} = \varepsilon_w \delta_0 (T_1^4 - Tw^4) / (T_1 - Tw)$  với  $\varepsilon_w$  = độ đen ống.

Tính  $q_{l1} = (\alpha_1 + \alpha_{1\varepsilon})(t_1 - tw_1)\pi d_0$ , [W/m].

2) Tính nhiệt độ ngoài vỏ bảo vệ  $t_b$  theo phương trình:

$$q_{li} = q_{\lambda l} = \frac{t_{w1} - t_b}{\sum \frac{1}{2\pi\pi_i \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}} \text{ tức } t_b = tw_1 = \frac{t_{w1} - t_b}{\sum \frac{1}{2\pi\pi_i \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}}$$

Tính  $\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{db} Nu_2(GrPrRe)_2$  theo công thức TN toả nhiệt môi trường.

Tính  $q_{l2} = \alpha_2(t_b - t_0)\pi d_b$ , [W/m].

3) So sánh sai số  $\varepsilon_q = |1 - \frac{q_{l2}}{q_{l1}}|$  với  $[\varepsilon] = 5\%$  chọn trước, tức là xét:

$$\varepsilon_q - [\varepsilon] = \begin{cases} > 0 \rightarrow \text{Thay đổi } t_{w1} \text{ và lặp lại (1 ÷ 3)} \\ \leq 0 \rightarrow \text{lấy } \alpha_1, \alpha_2 \text{ như trên} \end{cases}$$

Nếu môi chất là pha lỏng, có thể coi  $\alpha_1 \rightarrow \infty$  hay  $t_{w1} = t_1$ , và tính một lần  $t_b$ ,  $\alpha_2$  theo công thức ở bước 2.

\* Tính toán thực tế có thể dùng các công thức kinh nghiệm tính  $\alpha_2$  ra môi

trường không khí theo: 
$$\alpha_2 = \begin{cases} 1,16 \left( \frac{t_1 - t_0}{d_b} \right)^{0,25} \\ 11,6 + 7\sqrt{\omega} \end{cases}$$

với  $t_1, t_0$  là nhiệt độ môi chất, môi trường [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$d_b$  là đường kính ngoài lớp bảo vệ, [m]

$\omega$  là tốc độ gió, [m/s]

$\alpha$  là hệ số tỏa nhiệt, [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

### 2.2.3. Tính các nhiệt trở:

$$R_{\alpha 1} = \frac{1}{\pi d_0 \alpha_1}, [\text{mK/W}]$$

$$R_{\delta} = \frac{1}{2\pi\pi_0} \ln \frac{d_1}{d_0}, \quad R_c = \frac{1}{2\pi\pi_c} \ln \frac{d_c}{d_1}, [\text{mK/W}]$$

$$R_b = \frac{1}{2\pi\pi_b} \ln \frac{d_b}{d_c}, \quad R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_b \lambda_2}, \quad R_l = \Sigma R_{bi}, [\text{mK/W}].$$

Trong thực hành, cho phép bỏ qua  $R_{\alpha 1}, R_{\delta}, R_b$  theo các điều kiện nói trên và tính  $\alpha_2$  theo công thức kinh nghiệm.

### 2.2.4. Tính tổn thất nhiệt:

Tổn thất nhiệt trên 1m dài đường ống là:  $q_l = \frac{\overline{t_{Mc}} - t_0}{R_l}$ , khi tính gần đúng, coi

nhiệt độ trung bình của môi chất trong ống là  $t_1$  ở đầu vào tức là  $q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_l}$ , [ $\text{W}/\text{m}$ ].

- Tổn thất nhiệt trên ống dài l:

$$Q = l q_l = l \frac{t_1 - t_0}{R_l}, [\text{W}].$$

### 2.2.5. Phân bố nhiệt độ trong vách ống:

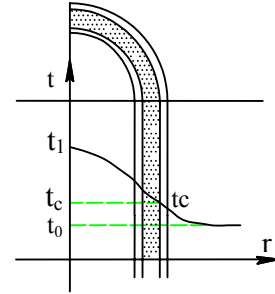
\* Nhiệt độ mặt ngoài lớp cách nhiệt  $t_c$ , khi coi  $R_b = R_{\delta} = R_{\alpha 1} = 0$  xác định theo phương trình cân bằng nhiệt:

$$q_l = \frac{t_1 - t_c}{R_c} = \frac{t_c - t_0}{R_{\alpha 2}} \rightarrow t_c = \frac{\frac{t_1}{R_c} + \frac{t_0}{R_{\alpha 2}}}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_{\alpha 2}}}.$$

\* Phân bố  $t$  trong các lớp vách có dạng đường cong lôgarit như hình 2.4.

Ghi chú: Nếu ống chữ nhật  $a \times b$  thì dùng đường kính tương đương

$$d = \frac{4f}{u} = \frac{2ab}{a+b} \text{ và tính như ống tròn.}$$



**Hình 2.4: Phân bố  $t(r)$**

### 2.2.6. Ví dụ thực tế:

Tính  $\alpha_2$ ,  $R_l$ ,  $q_l$ ,  $Q$ ,  $t_c$  của ống có  $\frac{d_c}{d_1} = \frac{60}{50}$  mm,  $d_c =$

160,  $\lambda_c = 0,1$  W/mK,  $l = 50$  m dẫn dầu nóng,  $t_1 = 120^\circ\text{C}$  đặt trong không khí  $t_0 = 30^\circ\text{C}$ , gió  $\omega = 3$  m/s.

Các bước tính:

1) Hệ số toả nhiệt ra khí trời:  $\alpha_2 = 11,6 + 7\sqrt{\omega} = 11,6 + 7\sqrt{3} = 23,72$  W/m<sup>2</sup>K.

2) Tính tổng nhiệt trở, bỏ qua  $R_{\alpha 1} = R_{\delta} = R_b = 0$ .  $R_l = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{\pi d_c \alpha_2}$

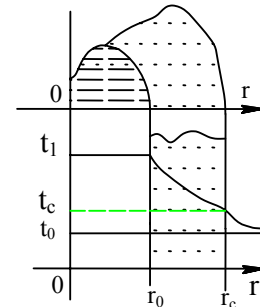
$$R_l = \frac{1}{2,3,14,0,1} \ln \frac{60}{50} + \frac{1}{3,14,0,06,23,72} = 0,514 \text{ mK/W}$$

3) Tính tổn thất nhiệt:

$$q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_l} = \frac{120 - 30}{0,514} = 175 \text{ W/m}$$

$$Q = l q_l = 50 \cdot 175 = 8750 \text{ W}$$

4) Tính  $t_c = \frac{\frac{t_1}{R_c} + \frac{t_0}{R_{\alpha 2}}}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_{\alpha 2}}}$  với



**Hình 2.5: Phân bố  $t(r)$  trong vách CN**

$$R_c = \frac{1}{2,3,14,0,1} \ln \frac{60}{50} + \frac{1}{3,14,0,06,23,72} = 0,514 \text{ mK/W}$$

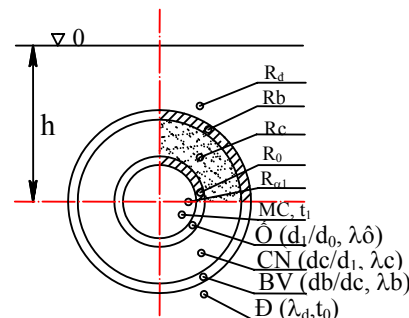
$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{3,14,0,06,23,72} \ln \frac{60}{50} = 0,224 \text{ mK/W}$$

$$t_c = \frac{\frac{120}{0,29} + \frac{30}{0,224}}{\frac{1}{0,29} + \frac{1}{0,224}} = 69^\circ\text{C}$$

*Nhận xét:* Nếu không bọc cách nhiệt thì hệ số  $R_l = 0,224 \text{ mK/W}$ ,  $q_l = 402 \text{ W/m}$ ,  $Q_0 = 20089 \text{ W} = 230\% Q$ .

### 2.3. Tính nhiệt ống ngầm trong đất:

**2.3.1. Mô tả kết cấu:** một ống chôn ngầm trong đất: gồm ống dẫn ( $d_l/d_o$ ,  $\lambda_o$ ) bọc cách nhiệt ( $d_c$ ,  $\lambda_c$ ) lớp bảo vệ ( $d_b$ ,  $\lambda_b$ ) có khả năng chống thấm nước, chôn ngầm trong đất ( $\lambda_d$ ,  $t_0$ ) cách mặt đất  $h$ .



Hình 2.6: Ống ngầm trong đất

Nhiệt độ vùng đất xung quanh ống được xác định theo quy ước:

$$t_0 = \begin{cases} \text{- Nhiệt độ mặt đất khi } h < 2d_b \\ \text{- Nhiệt độ đất tại độ } h \geq 2d_b \text{ lấy theo giá trị trung bình năm} \\ \text{nhờ đo tại thực địa.} \end{cases}$$

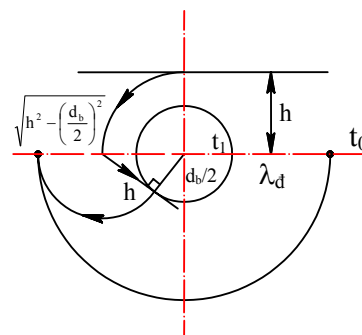
### 2.3.2. Tính các nhiệt trở:

\* Các nhiệt trở  $R_{\alpha1}$ ,  $R_o$ ,  $R_c$ ,  $R_b$  được tính như trên,  $R_{\alpha1}$ ,  $R_o$ ,  $R_b$  được phép bỏ qua theo các điều kiện nêu ở mục 1.2.2.

\* Nhiệt trở đất được coi là nhiệt trở 1 m ống trụ bằng đất có  $\lambda_d$  và tỉ số các đường kính ngoài, trong là:

$$\frac{d_n}{d_t} = \frac{2 \left( h + \sqrt{h^2 + \left( \frac{d_b}{2} \right)^2} \right)}{d_b} \text{ hay } \frac{d_n}{d_t} = \frac{2h}{d_b} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_b} \right)^2 - 1}$$

$$\text{tức là: } R_d = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_b} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_b} \right)^2 - 1} \right], \text{ mK/W. (công thức Fochemer).}$$



Hình 2.7

Với:  $\lambda_d$  là biến số dẫn nhiệt của đất, phụ thuộc loại đất, nhiệt độ  $t$ , độ ẩm  $\varphi$ . Khi  $t \in (10 \div 40)^\circ\text{C}$  và  $\varphi \in (50 \div 90)\%$  thì có thể lấy  $\lambda_d \in (1,2 \div 2,5) \text{ W/mK}$  hay  $\bar{\lambda}_d = 1,8 \text{ W/mK}$ .

\* Nếu coi  $R_{\alpha1} = R_o = R_b = 0$  thì có:

$$R_l = R_c + R_d = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_b} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_b}\right)^2 - 1} \right].$$

Tổn thất nhiệt  $q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_l}$  và  $Q = lq_l$ .

### 2.3.3. Trường nhiệt độ trong lớp cách nhiệt và trong đất.

\* Trường nhiệt độ trong lớp cách nhiệt tính theo phương trình cân bằng nhiệt:

$$\frac{t_1 - t_c}{R_c} = \frac{t_c - t_0}{R_d} \rightarrow t_c = \frac{\frac{t_1}{R_c} + \frac{t_0}{R_d}}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_d}}$$

\* Nếu chọn hệ tọa độ Oxy với ox vuông góc với trục ống, oy song song với  $\vec{g}$  qua trục ống thì nhiệt độ tại điểm  $M(x,y)$  được xác định theo công thức:

$$t(x,y) = t_0 + (t_1 - t_0) \frac{\frac{1}{\lambda_d} \sqrt{x^2 + (y+h)^2}}{\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_c} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_c}\right)^2 - 1} \right]}$$

\* Nếu ống chữ nhật  $a \times b$  thì tính tương tự ống tròn có:  $d = \frac{2ab}{a+b}$ , m.

Hình 2.8 mô tả phân bố  $t$  trong lớp cách nhiệt và trong đất

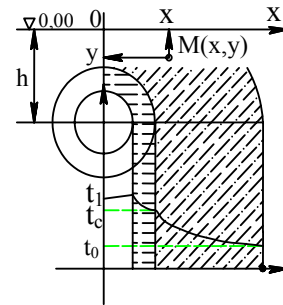
### 2.3.4. Ví dụ về ống đơn ngầm trong đất.

Bài toán: Tính  $R_c$ ,  $R_d$ ,  $q_l$ ,  $Q$ ,  $t_c$ ,  $t(x=0,1; y=0,2m)$  của đường ống dài  $l=20m$ ,  $\frac{d_c}{d_1} = \frac{150}{40}$  mm,  $\lambda_c =$

$0,05W/mK$ , dẫn nước nóng  $t_1 = 90^\circ C$ , ngầm trong đất sâu  $h = 500mm$ ,  $t_0 = 27^\circ C$ ,  $\lambda_d = 1,8 W/mK$ .

Các bước tính

$$R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} = \frac{1}{2.3.14.0,05} \ln \frac{150}{40} = 4,2 \text{ mK/W}$$



**Hình 2.8:  $t(r)$  trong cách nhiệt, trong đất**

$$R_d = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_b} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_b} \right)^2 - 1} \right] = \frac{1}{2,3,14,1,8} \ln \left[ \frac{2,0,5}{0,15} + \sqrt{\left( \frac{2,0,5}{0,15} \right)^2 - 1} \right] = 0,23 \text{ mK/W.}$$

$$q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_c + R_d} = \frac{90 - 27}{4,2 + 0,23} = 14,2 \text{ W/m.}$$

$$Q = l \cdot q_l = 20 \times 14,2 = 285 \text{ W.}$$

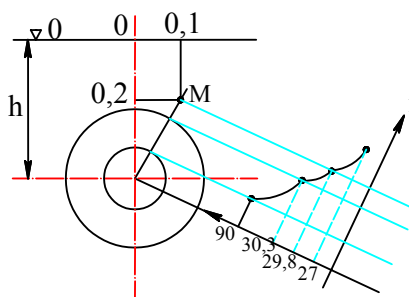
$$t_c = \frac{\frac{t_1}{R_c} + \frac{t_0}{R_d}}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_d}} = \frac{\frac{90}{4,2} + \frac{27}{0,23}}{\frac{1}{4,2} + \frac{1}{0,23}} = 30,3 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$t(x,y) = t_0 + (t_1 - t_0) \frac{\frac{1}{\lambda_d} \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}}{\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_c} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_c} \right)^2 - 1} \right]}$$

$$= 27 + (90 - 27) \frac{\frac{1}{1,8} \sqrt{\frac{0,1^2 + (0,2 + 0,5)^2}{0,1^2 + (0,2 - 0,5)^2}}}{\frac{1}{0,05} \ln \frac{150}{40} + \frac{1}{1,8} \ln \left[ \frac{2,0,5}{0,15} + \sqrt{\left( \frac{2,0,5}{0,15} \right)^2 - 1} \right]}$$

$$= 27 + 63 \frac{1,24}{27,87} = 29,8 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Phân bố  $t$  trong cách nhiệt và trong đất có dạng như hình 2.9



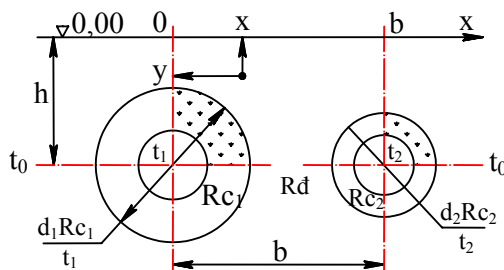
Hình 2.9: Phân bố  $t(M)$

## 2.4. Tính nhiệt nhiều ống ngầm trong đất.

### 2.4.1. Mô tả hệ nhiều ống ngầm trong đất:

Xét hệ gồm hai ống ngầm có  $(t_1, R_{c1}, d_1)$  và  $(t_2, R_{c2}, d_2)$  chôn trong đất cùng độ sâu  $h$ , cách nhau  $b$  đủ gần để có thể trao đổi nhiệt với nhau với nhiệt độ môi chất  $t_1 > t_2$ .

Cho biết  $\lambda_d$  nhiệt độ đất tại độ sâu  $h$  ngoài hai ống là  $t_0$ .



Hình 2.10: Hệ hai ống ngầm

#### 2.4.2. Tính tổn thất nhiệt.

$$\text{Nếu gọi : } R_1 = R_{c1} + R_{d1} = \frac{1}{2\pi\lambda_{c1}} \ln \frac{d_{c1}}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_{c1}} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_{c1}} \right)^2 - 1} \right], \text{ mK/W}$$

$$R_2 = R_{c2} + R_{d2} = \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_{c2}}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_{c2}} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_{c2}} \right)^2 - 1} \right], \text{ mK/W}$$

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \sqrt{1 + \left( \frac{2h}{b} \right)^2}, \text{ mK/W}$$

$$q_{l_1} = \frac{(t_1 - t_0)R_2 - (t_2 - t_0)R_1}{R_1 R_2 + R_0^2} = -q_{l_2} \text{ (với } t_1 > t_2), \text{ W/m.}$$

#### 2.4.3. Trường nhiệt độ trong đất.

Chọn hệ tọa độ xoy với  $\vec{y} \parallel \vec{g}$  qua trục ống nóng  $t_1$ ,  $\vec{x} \equiv$  mặt đất và  $\vec{x} \perp$  trục ống, như hình 16.

\* Trường nhiệt độ tại  $\forall M$  nằm vùng ngoài 2 ống, có  $x < 0$  hoặc  $x > b$ , giống như ở quanh ống đơn tiếp xúc vùng này, với công thức tính  $t(x,y)$  như trên.

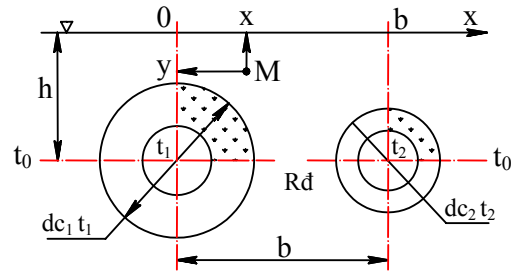
\* Trong vùng đất giữa 2 ống với  $0 < x < b$  tại điểm  $M(x,y)$  có nhiệt độ bằng:

$$t(x,y) = t_0 + \frac{q_{l_1}}{2\pi\pi_d} \left[ \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}} \right].$$

#### 2.4.4. Ví dụ hệ 2 ống ngầm:

Có  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 30^\circ\text{C}$ ,  $l = 100\text{m}$ ,  
 $t_0(h) = 27^\circ\text{C}$ ,  $h = 1\text{m}$ ,  $\lambda_{c1} = \lambda_{c2} = 0,02\text{W/mK}$ ,  
 $\frac{d_{c1}}{d_1} = \frac{150}{50}$ ,  $\frac{d_{c2}}{d_2} = \frac{100}{30}$ ,  $b = 300\text{mm}$ ,  $\lambda_d = 1,8\text{W/mK}$ .

Tính  $q_{l_1}$ ,  $Q_1$ ,  $t(x = 0,15\text{m}; y = 0,8\text{m})$ .



**Hình 2.11: Hệ hai ống ngầm**

hình 17

$$R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda_{c1}} \ln \frac{d_{c1}}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_{c1}} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_{c1}} \right)^2 - 1} \right]$$

$$= \frac{1}{2.3,14.0,02} \ln \frac{150}{50} + \frac{1}{2.3,14.1,8} \ln \left[ \frac{2.1}{0,15} + \sqrt{\left( \frac{2.1}{0,3} \right)^2 - 1} \right] = 9 \text{ mK/W.}$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_{c2}} \ln \frac{d_{c2}}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_{c2}} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_{c2}} \right)^2 - 1} \right]$$

$$= \frac{1}{2.3,14.0,02} \ln \frac{100}{d30} + \frac{1}{2.3,14.1,8} \ln \left[ \frac{2.1}{0,1} + \sqrt{\left( \frac{2.1}{0,1} \right)^2 - 1} \right] = 9,91 \text{ mK/W.}$$

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ 1 + \sqrt{\left( \frac{2h}{b} \right)^2} \right] = \frac{1}{2.3,14.1,8} \ln \left[ 1 + \sqrt{\left( \frac{2.1}{0,3} \right)^2} \right] = 0,17 \text{ mK/W.}$$

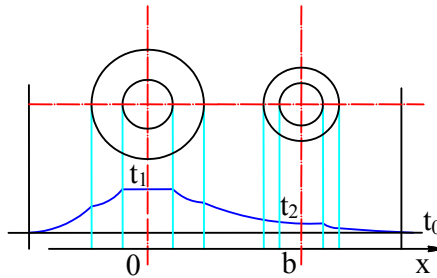
$$q_{11} = \frac{(t_1 - t_0)R_2 - (t_2 - t_0)R_1}{R_1R_2 + R_0^2} = \frac{(150 - 27).9,91 - (30 - 27).9}{9.9,91 + 0,17^2} = 13,4 \text{ W/m.}$$

$$Q_1 = 1.q_1 = 100.13,4 = 1337 \text{ W.}$$

$$t(x,y) = t_0 + \frac{q_{11}}{2\pi\pi_d} \left[ \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}} \right]$$

$$= 27 + \frac{13,4}{2.3,14.1,8} \left[ \ln \sqrt{\frac{0,15^2 + (0,8+1)^2}{0,15^2 + (0,8-1)^2}} + \ln \sqrt{\frac{(0,15-0,3)^2 + (0,8+1)^2}{(0,15-0,3)^2 + (0,8-1)^2}} \right] = 36,4^\circ\text{C.}$$

Phân bố t có dạng như hình 2.12



**Hình 2.12: Phân bố t trong hệ ống ngầm**

## 2.5. Tính nhiệt cho ống đơn trong kênh ngầm:

### 2.5.1. Mô tả ống đơn trong kênh ngầm:

Ống đơn có  $(\frac{d_1}{d_0}, \lambda_\delta)$  bọc cách nhiệt  $(\frac{d_c}{d_1}, \lambda_c)$  vỏ bảo vệ  $(d_b, \lambda_b)$  đặt tại độ sâu h

dưới mặt đất trong kênh ngầm có kích thước Bx Hxδ có  $\lambda_K$  trong đất có  $\lambda_d, t_0$ . Môi chất trong ống nhiệt độ  $t_1$ .



Quá trình truyền nhiệt từ môi chất đến đất gồm dòng nhiệt môi chất đến mặt trong ống → qua ống → qua cách nhiệt → không khí trong kênh → mặt trong kênh → qua kênh → vào đất.

- Quá trình trao đổi nhiệt giữa môi chất đến mặt trong ống là trao đổi nhiệt phức hợp với:  $\alpha_1 = \alpha_{1dl} + \alpha_{1bx}$  tính như bài 2.

- Quá trình trao đổi nhiệt từ môi chất → không khí trong kênh → vách kênh coi là trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên với  $\alpha_2 = \alpha_3$  được tính theo :

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \begin{cases} 1,16 \left( \frac{t_1 - t_k}{d_c} \right)^{0,25} & \text{hay} \\ 11,6 + 7\sqrt{\omega} & \text{khi } \omega = 0 \end{cases}$$

### 2.5.2. Tính các nhiệt trở:

$R_{\alpha 1}$ ,  $R_{\delta}$ ,  $R_b$  tính như trước, có thể bỏ qua khi đủ nhỏ.  $R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d}$  là phần

chính của  $R_l$

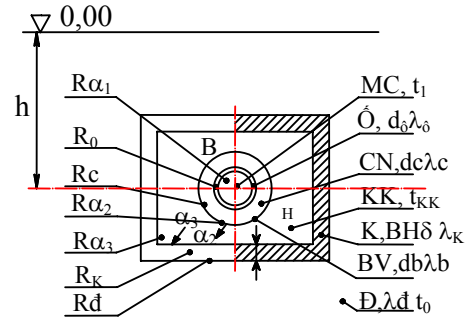
$$\left. \begin{aligned} R_{\alpha 2} &= \frac{1}{\pi d_c \alpha_2} \\ R_{\alpha 3} &= \frac{1}{\pi d_3 \alpha_3} \\ R_k &= \frac{1}{2\pi \lambda_k} \ln \frac{d_4}{d_3} \end{aligned} \right\} \text{ với } \begin{cases} d_3 = \frac{df_3}{\mu_3} = \frac{2BH}{B+H} \\ d_4 = \frac{df_4}{\mu_4} = \frac{2(B+2\delta)(H+2\delta)}{B+H+4\delta} \end{cases}$$

$$R_d = \frac{1}{2\pi \lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_4} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_4} \right)^2 - 1} \right]$$

$$= \frac{1}{2\pi \lambda_d} \ln \left[ \frac{h(B+H+4\delta)}{(B+2\delta)(H+2\delta)} + \sqrt{\frac{h^2(B+H+4\delta)^2}{(B+2\delta)^2(H+2\delta)^2} - 1} \right], \text{ mK/W.}$$

$$R_l = \sum R_{li} = (R_{\alpha 1}) + (R_0) + (R_c) + (R_b) + R_{\alpha 3} + R_{\alpha 4} + R_k + R_d$$

$$= \frac{1}{2\pi \lambda_c} \ln \frac{d_c}{d_1} + \frac{1}{\pi d_c \alpha_2} + \frac{1}{\pi d_3 \alpha_2} + \frac{1}{2\pi \lambda_k} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{2\pi \lambda_c} \ln \left[ \frac{2h}{d_4} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_4} \right)^2 - 1} \right].$$



Hình 2.13: Ống đơn trong kênh

### 2.5.3. Tính nhiệt độ $t_K$ của không khí trong kênh:

Theo phương trình cân bằng nhiệt:  $q_{mc} \rightarrow \text{không khí} = q_{kk} \rightarrow \text{đất}$ .

**Phần này bị mất chữ do photo (trang 22)**

Nếu cần tính  $\alpha_2$  chính xác, dùng chương trình lặp sau:

1) Tính  $R_c, R_K, R_d$  như trên.

2) Chọn trước  $\alpha_2 = 11,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tính  $R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_c \alpha_2}$ ,  $R_{\alpha 3} = \frac{1}{\pi d_3 \alpha_2}$ .

3) Tính  $t_K = f(t_1, t_0, R_c, R_{\alpha 2}, R_{\alpha 3}, R_K, R_d)$  theo công thức (5.3).

4) Tính lại  $\alpha_{2t} = 11,6 \left( \frac{t_1 - t_K}{d_c} \right)^{\frac{1}{4}}$

5) Tính và so sánh sai số:

$$\left| 1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_{2t}} \right| - 0,05 = \begin{cases} > 0 \rightarrow \text{thay đổi } \alpha_2 \text{ và lặp lại các bước (2÷5)} \\ \leq 0 \rightarrow \text{lấy } \alpha_2 \text{ vừa chọn.} \end{cases}$$

### 2.5.4. Tính tổn thất nhiệt:

Tổn thất nhiệt qua 1m ống kênh là:  $q_l = \frac{t_1 - t_0}{R_l}$ , W/m.

Tổn thất nhiệt qua ống dài l là:  $Q = l q_l$ , W.

2.5.5. Ví dụ về tính 1 ống trong kênh ngầm:

Tính  $R_{li}, t_K, Q$  của ống có:  $\frac{d_c}{d} = \frac{160}{60}$ ,  $\lambda_c = 0,02 \text{ W/m}$ ,  $l = 100 \text{ m}$  đặt trong kênh  $B =$

$250$ ,  $H = 300$ ,  $\delta = 150$ ,  $\lambda_k = 1,3 \text{ W/mK}$ , ở độ sâu  $h = 500$ , đất có  $\lambda_d = 1,8 \text{ W/mK}$ ,  $t_0 = 27^\circ\text{C}$ , môi chất là dầu có  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ .

Các bước tính:

1) Tính  $R_{li}$ :  $R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d} = \frac{1}{2,3,14 \cdot 0,02} \ln \frac{160}{60} = 7,81 \text{ mK/W}$ .

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_c \alpha_2} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,16 \cdot 11,6} = 0,17 \text{ mK/W}.$$

2) Tính  $d_3 = \frac{2BH}{B+H} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,3}{0,25 + 0,3} = 0,273 \text{ m}$ .

$$d_4 = \frac{2(B + 2\delta)(H + 2\delta)}{B + H + 4\delta} = \frac{2(0,25 + 2.0,15)(0,3 + 2.0,15)}{0,25 + 0,3 + 4.0,15} = 0,574m.$$

$$3) \text{ Tính } R_{\alpha 3} = \frac{1}{\pi d_3 \alpha_2} = \frac{1}{3,14.0,273.11,6} = 0,1 \text{ mK/W.}$$

$$R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_4}{d_3} = \frac{1}{2.3,14.1,3} \ln \frac{0,574}{0,273} = 0,09 \text{ mK/W.}$$

$$R_d = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_4} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_4} \right)^2 - 1} \right] = \frac{1}{2.3,14.1,8} \ln \left[ \frac{2.0,5}{0,574} + \sqrt{\left( \frac{2.0,5}{0,574} \right)^2 - 1} \right]$$

$$= 0,1 \text{ mK/W.}$$

$$4) \text{ Tính } t_k = \frac{\frac{t_1}{R_c + R_{\alpha 2}} + \frac{t_0}{R_{\alpha 3} + R_k + R_d}}{\frac{1}{R_c + R_{\alpha 2}} + \frac{1}{R_{\alpha 3} + R_k + R_d}} = \frac{\frac{150}{7,81 + 0,17} + \frac{27}{0,1 + 0,09 + 0,1}}{\frac{1}{7,81 + 0,17} + \frac{1}{0,1 + 0,09 + 0,1}} = 31,3^\circ \text{C.}$$

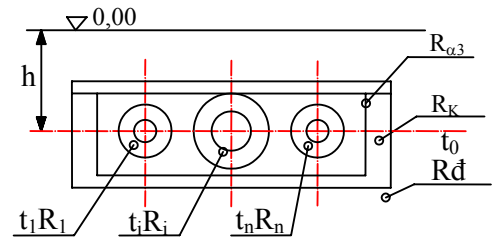
$$5) \text{ Tính } q_l = \frac{t_1 - t_0}{\sum R_{li}} = \frac{150 - 27}{7,8 + 0,17 + 0,1 + 0,09 + 0,1} = 15 \text{ W/m.}$$

Tổng tổn thất :  $Q = lq_l = 100.15 = 1500 \text{ W.}$

## 2.6. Tính hệ nhiều ống trong kênh ngầm:

### 2.6.1. Mô tả hệ n ống trong kênh.

Xét hệ gồm n ống đường kính tùy ý, có tâm đặt tại cùng độ sâu h, mỗi ống dẫn các môi chất khác nhau, nhiệt độ  $t_1, t_i, t_n$ . Cho trước nhiệt trở riêng mỗi ống  $R_i = (R_c + R_{\alpha 2})_i, \forall i \in (1, n)$ , nhiệt trở qua kênh là:  $R_{Kđ} = R_{\alpha 3} + R_K + R_d$ , nhiệt độ đất  $t_0(h) = t_0$ .



Hình 2.14: Hệ ống trong kênh

Cần tính nhiệt độ không khí trong kênh  $t_k$ , tổn thất nhiệt riêng mỗi ống  $q_{li}, Q_i$ , tổng tổn thất nhiệt qua kênh là  $Q$ .

### 2.6.2. Tính nhiệt độ ổn định của không khí trong kênh $t_k$ .

Quá trình trao đổi nhiệt của môi chất và đất là: Nhiệt từ môi chất trong các ống truyền vào không khí trong kênh sau đó truyền qua kênh ra đất. Do đó quá trình cân bằng nhiệt ổn định cho 1m ống kênh là:

$$\sum q_{ik} = q_{kd} \text{ hay } \sum_{i=1}^n \frac{t_i - t_k}{R_i} = \frac{t_k - t_0}{R_{kd}}. \text{ Suy ra: } t_k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{R_i} + \frac{t_0}{R_{kd}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{kd}}}.$$

### 2.6.3. Tính các tổn thất nhiệt.

Tổn thất nhiệt qua 1m ống i là:  $q_{li} = \frac{t_i - t_k}{R_i}$ , W/m.

Tổn thất nhiệt qua ống i dài l là:  $Q_i = l q_{li}$ , W

Tổn thất nhiệt qua 1m kênh là:  $q_l = \sum q_{li} = \frac{t_k - t_0}{R_{kd}}$ , W/m.

Tổn thất nhiệt qua kênh là:  $Q = \sum_n Q_i = l \frac{t_k - t_0}{R_{kd}}$ .

Nhiệt độ mặt trong  $tw_1$  và mặt ngoài  $tw_2$  của kênh được tính theo phương trình cân bằng nhiệt:

$$q_l = \frac{tw_1 - t_0}{R_k - R_d} = \frac{tw_2 - t_0}{R_d}, \text{ do đó có: } tw_2 = t_0 + q_l R_d \text{ và } tw_1 = t_0 + q_l (R_k + R_d).$$

Nhiệt độ mặt ngoài lớp cách nhiệt của ống thứ i tìm theo phương trình cân bằng nhiệt:

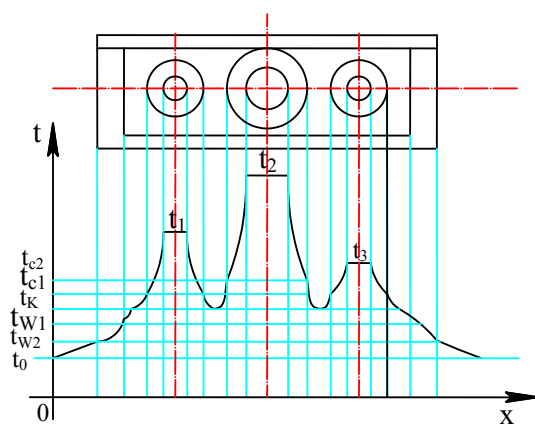
$$q_{li} = \frac{t_i - t_k}{(R_c + R_{a2})_i} = \frac{t_i - t_{ci}}{R_{ci}} \rightarrow t_{ci} = t_i - (t_i - t_k) \frac{R_{ci}}{R_{ci} + R_{a2}}, \forall i \in (1, n).$$

Trường nhiệt độ trong mặt cắt ngang kênh có dạng như hình 2.15.

Chú ý:

- Môi chất nóng ( $t_i > t_0$ ) và môi chất lạnh ( $t_i < t_0$ ) không đi chung trong một kênh.

- Bố trí các ống trong kênh sao cho  $(t_i - t_f)$  hai ống cạnh nhau là bé nhất.



Hình 2.15: Phân bố t trong ống và kênh

### 2.6.4. Ví dụ về hệ 2 ống trong kênh ngầm.

Tính  $t_k$ ,  $q_{li}$ ,  $q_l$ ,  $t_{ci}$ ,  $tw_1$ ,  $tw_2$ ,  $Q$  của hệ 2 ống có  $d_{c1}/d_1 = 300/100$ , MC1 = khói nóng  $t_1 = 250^\circ\text{C}$ ,  $d_{c2}/d_c = 150/50$ , MC2 = nước nóng  $t_2 = 180^\circ\text{C}$ , vật liệu cách nhiệt có  $\lambda_1 = \lambda_2 =$

0,025 W/mK, trong kênh có BxHxδ = 600x400x200, sâu h = 1000mm, λ<sub>k</sub> = 1,3W/mK, đất có λ<sub>d</sub> = 1,8 W/mK, t<sub>0</sub> = 30<sup>0</sup>C, kênh dài l = 100m.

Các bước tính hệ 2 ống trong kênh:

1) Tính nhiệt trở R<sub>ci</sub>, R<sub>α2i</sub> :

$$R_{c1} = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_{c1}}{d_1} = \frac{1}{2.3,14.0,025} \ln \frac{300}{100} = 7 \text{ mK/W.}$$

$$R_{c2} = \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_{c2}}{d_2} = \frac{1}{2.3,14.0,025} \ln \frac{150}{50} = 7 \text{ mK/W.}$$

Lấy α<sub>2</sub> = α<sub>3</sub> = 11,6 W/m<sup>2</sup>K thì:

$$R_{\alpha 21} = \frac{1}{\pi d_{c1} \alpha_2} = \frac{1}{3,14.0,3.11,6} = 0,092 \text{ mK/W.}$$

$$R_{\alpha 22} = \frac{1}{\pi d_{c2} \alpha_2} = \frac{1}{3,14.0,15.11,6} = 0,183 \text{ mK/W.}$$

2) Tính d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub> và R<sub>α3</sub>, R<sub>K</sub>, R<sub>d</sub>:

$$d_3 = \frac{4f_3}{\mu_3} = \frac{2BH}{B+H} = \frac{2.0,6.0,4}{0,6+0,4} = 0,48\text{m},$$

$$d_4 = \frac{4f_4}{\mu_4} = \frac{2(B+2\delta\delta)(+2\delta\delta)}{B+H+4\delta} = \frac{2(0,6+2.0,2)(0,4+2.0,2)}{0,6+0,4+4.0,2} = 0,89\text{m}$$

$$R_{\alpha 3} = \frac{1}{\pi d_3 \alpha_3} = \frac{1}{3,14.0,48.11,6} = 0,057 \text{ mK/W}$$

$$R_K = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_4}{d_3} = \frac{1}{2.3,14.1,3} \ln \frac{0,89}{0,48} = 0,076 \text{ mK/W.}$$

$$R_d = \frac{1}{2\pi\lambda_d} \ln \left[ \frac{2h}{d_4} + \sqrt{\left( \frac{2h}{d_4} \right)^2 - 1} \right] = \frac{1}{2.3,14.1,8} \ln \left[ \frac{2.1}{0,89} + \sqrt{\left( \frac{2.1}{0,89} \right)^2 - 1} \right] = 0,129 \text{ mK/W.}$$

3) Tính t<sub>K</sub> của không khí trong kênh:

$$t_k = \frac{\frac{t_1}{R_{c1} + R_{\alpha 21}} + \frac{t_0}{R_{c2} + R_{\alpha 22}} + \frac{t_0}{R_{\alpha 3} + R_K + R_d}}{\frac{1}{R_{c1} + R_{\alpha 21}} + \frac{1}{R_{c2} + R_{\alpha 22}} + \frac{1}{R_{\alpha 3} + R_K + R_d}}$$

$$= \frac{\frac{250}{7+0,092} + \frac{180}{7+0,183} + \frac{30}{0,057+0,076+0,129}}{\frac{1}{7+0,092} + \frac{1}{7+0,183} + \frac{1}{0,057+0,076+0,129}} = 42,7^{\circ}\text{C}.$$

4) Tính  $q_{li}$ ,  $Q$ :

$$q_{l_1} = \frac{t_1 - t_k}{R_{c1} + R_{a11}} = \frac{250 - 42,7}{7 + 0,092} = 29,2 \text{ W/m}.$$

$$q_{l_2} = \frac{t_2 - t_k}{R_{c2} + R_{a22}} = \frac{180 - 42,7}{7 + 0,183} = 19,1 \text{ W/m}.$$

$$q_l = \sum q_{li} = 29,2 + 19,1 = 48,3 \text{ W/m}.$$

$$Q = l q_l = 100 \cdot 48,3 = 4830 \text{ W}.$$

5) Tính  $t_{ci}$ ,  $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ :

$$t_{c1} = t_1 - (t_1 - t_k) \frac{R_{c1}}{R_{c1} + R_{a21}} = 250 - (250 - 42,7) \frac{7}{7 + 0,092} = 45,4^{\circ}\text{C}$$

$$t_{c2} = t_2 - (t_2 - t_k) \frac{R_{c2}}{R_{c2} + R_{a22}} =$$

$$= 180 - (180 - 42,7) \frac{7}{7 + 0,183} = 46,2^{\circ}\text{C}$$

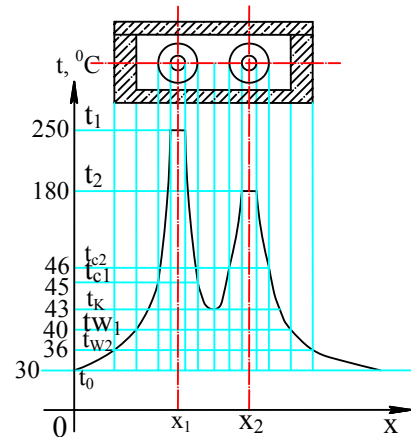
$$t_{w1} = t_0 + q_l (R_K + R_d) =$$

$$= 30 + 48,3 (0,076 + 0,129) = 39,9^{\circ}\text{C}.$$

$$t_{w2} = t_0 + q_l R_d =$$

$$= 30 + 48,3 \cdot 0,129 = 36,2^{\circ}\text{C}.$$

Phân bố  $t(x)$  trong mặt cắt kênh có dạng như hình 2.16.



Hình 2.16: Phân bố  $t$  trong ví dụ 2.6.4

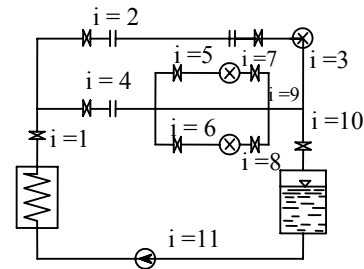
## 2.7. Tính tổn thất nhiệt toàn mạng nhiệt:

**2.7.1. Tổn thất nhiệt trên một nhánh:** Tổn thất nhiệt trên một nhánh ống  $i$  cùng đường kính  $d_i$  là: hình 2.17

$$Q_i = Q_{oi} + Q_{ci} = l_i q_{li} + \sum l_{ci} q_{li}$$

$$\text{hay } Q_i = l_i q_{li} \left( 1 + \frac{\sum l_{ci}}{l_i} \right) = l_i q_{li} (1 + \beta_i), \text{ (W).}$$

Với:  $l_i$ : chiều dài ống thứ  $i$ , (m).



Hình 2.17: Mạng nhiệt nhiều nhánh

$q_{li}$ : trao đổi nhiệt trên 1m ống  $d_i$ , (W/m).

$l_{ci}$ : chiều dài tương đương về tổn thất nhiệt của chi tiết cạnh, (m), sao cho

$l_{ci}q_{li}$  bằng tổn thất nhiệt cục bộ của chi tiết  $\beta_i = \frac{1}{l_i} \sum l_{ci}$  bằng hệ số trao đổi nhiệt cục bộ

của nhánh i, khi tính  $t_k$  sơ bộ, cho phép lấy  $\beta_i = (0,2 \div 0,3)$ , khi đó coi  $\beta_i = 0,25$  và có  $Q_i = 1,25l_iq_{li}$ , (W).

Bảng chiều dài tổn thất nhiệt tương đương $l_{ci}$ của một số chi tiết phụ:	Ký hiệu	Loại chi tiết không bảo ôn	$L_{ci}(m)$	Ghi chú
		Bích nối không bảo ôn	4 ÷ 5	Chọn tăng
		Van không bảo ôn	12 ÷ 24	theo diện tích
		Van bảo ôn 75%	4 ÷ 8	trao đổi nhiệt
		Gối đỡ, giá treo.	5 ÷ 10	ra môi trường

### 2.7.2. Tổn thất nhiệt toàn mạng là:

$$Q = Q_0 + Q_c = \sum Q_i = \sum l_i q_{li} + \sum Q_{ci} = \sum l_{ci} q_{li} (1 + \beta_i).$$

Khi tính sơ bộ lấy  $Q = 1,25 \sum l_{ci} q_{li}$ , W.

### 2.7.3. Hiệu suất cách nhiệt:

Để đánh giá hiệu quả của lớp cách nhiệt ta dùng hiệu suất cách nhiệt  $\eta_c$  được

định nghĩa là:  $\eta_c = \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} = 1 - \frac{Q_c}{Q_0}$ , %, trong đó:

$Q_0$ : Tổn thất nhiệt toàn mạng khi chưa bọc cách nhiệt.

$Q_c$ : Tổn thất nhiệt toàn mạng sau khi bọc cách nhiệt. Rõ ràng  $0 < \eta_c < 1$  và  $\eta_c$  tăng thì  $Q_c$  giảm nên hiệu quả cách nhiệt cao.

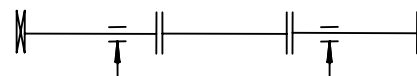
Tính thiết kế chọn  $\eta_c = 0,85 \div 0,95$  hay  $\eta_c = 0,9$  tức là cho  $Q_c = \frac{Q_0}{10}$ .

### 2.7.4. Ví dụ tính tổn thất nhiệt của một nhánh trên mạng có:

$\frac{d_c}{d} = \frac{200}{100}$ ,  $W_c = 0,1 \text{ W/mK}$ ,  $l = 120 \text{ m}$ , môi chất có  $t_1 = 120^\circ \text{C}$ , đặt trong không

khí có  $t_0 = 27^\circ \text{C}$ , gió  $\omega = 3 \text{ m/s}$ , với 1 van, 2 gối đỡ,

3 bích không bảo ôn. Hình 2.18



Hình 2.18

$$\text{Nhiệt trở } R_l = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d} + \frac{1}{\pi d_c (11,6 + 7\sqrt{\omega})} =$$

1,17 mK/W.

$$\text{Hệ số tổn thất nhiệt cục bộ } \beta = \frac{1}{l} \sum n_i l_{ci} = \frac{1}{120} (18 + 2.7 + 3.5) = 0,39.$$

$$q_l = \frac{t_1 - t}{R_l} = \frac{200 - 27}{1,17} = 156 \text{ W/m}, Q = l q_l (1 + \beta) = 26 \text{ kW}.$$



### Chương 3

## TÍNH THUỶ LỰC CHO MẠNG NHIỆT

### 3.1. Tính chọn đường kính ống.

#### 3.1.1. Nhiệm vụ tính thuỷ lực cho mạng nhiệt: bao gồm:

- Xác định đường kính các ống.
- Tính tổn thất áp suất (hay tổn thất thuỷ lực).
- Tìm phân bố áp suất môi chất trên đường ống
- Kiểm tra áp suất và lưu lượng môi chất đến các hộ tiêu thụ ở cuối đường ống.
- Chọn bơm quạt cho mạng nhiệt.

#### 3.1.2. Tính chọn đường kính ống.

Việc chọn đường kính  $d$  của dựa vào lưu lượng  $V(\text{m}^3/\text{s})$  hoặc  $G(\text{kg}/\text{s})$  khối lượng riêng  $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$  và vận tốc  $\omega(\text{m}/\text{s})$  của từng loại môi chất theo quan hệ sau:

$$G = \rho V = \rho \omega f =$$

$$\rho \omega \frac{\pi}{4} d^2, \text{ do đó:}$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{V}{\pi \omega}} = 2 \sqrt{\frac{G}{\pi \rho \omega}},$$

(m) với:  $\omega(\text{m}/\text{s})$  là vận tốc trung bình của môi chất trong ống, cho theo bảng sau: Nếu ống không tròn thì lấy đường kính tương đương  $d = \frac{4f}{u}$ .

TT	Môi chất	$\omega(\text{m}/\text{s})$
1	Chất lỏng tự chảy.	$0,1 \div 1$
2	Chất lỏng trong ống hút của bơm.	$0,8 \div 2$
3	Chất lỏng trong ống đẩy của bơm.	$1,5 \div 2,5$
4	Chất khí chảy tự nhiên.	$2 \div 4$
5	Khí trong ống đẩy của quạt.	$4 \div 1,5$
6	Khí trong ống đẩy của máy nén.	$15 \div 25$
7	Hơi bão hoà.	$15 \div 50$
8	Hơi quá nhiệt.	$30 \div 75$

### 3.2. Tính sức cản thuỷ lực:

Sức cản thuỷ lực được đo bằng hiệu số áp suất (hay tổn thất áp suất)  $\Delta p (\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa})$ . Quan hệ tính đổi các đơn vị áp suất là:  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 = 10^{-5}\text{bar} = 0,987.10^{-5} \text{atm} = 1,02.10^{-5} \text{at} = 0,102 \text{mmH}_2\text{O} (4^\circ\text{C})$ .

#### 3.2.1. Các loại tổn thất áp suất:

Áp suất toàn phần cần thiết để khắc phục tất cả các sức cản thuỷ lực trong hệ thống ống dẫn, thiết bị, của môi chất chảy đẳng nhiệt là:

$\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_c + \Delta p_h + \Delta p_\omega + \Delta p_t + \Delta p_f$ , trong đó:

\*  $\Delta p_m = \lambda \frac{\rho \omega^2}{2} \cdot \frac{l}{d}$ , (N/m<sup>2</sup>) là áp suất để khắc phục trở lực ma sát khi môi chất

chảy ổn định trong ống thẳng, trong đó  $l$ (m) chiều dài ống,  $d$ (m) =  $\frac{4f}{u}$  đường kính của

ống,  $\lambda$ (KTN) là hệ số ma sát,  $\frac{\rho \omega^2}{2}$  là động năng dòng chảy.

\*  $\Delta p_c = \xi \frac{\rho \omega^2}{2} = \lambda \frac{\rho^2}{2} \cdot \frac{l_{td}}{d}$ , (N/m<sup>2</sup>) là áp suất để khắc phục trở lực cục bộ tại các

chi tiết, với  $\xi$  (KTN) là hệ số trở lực cục bộ,  $l_{td}$  (m) là chiều dài tương đương, bằng chiều dài ống thẳng có trở lực bằng trở lực cục bộ của chi tiết.

\*  $\Delta p_h = fgh$  (N/m<sup>2</sup>) là áp suất để nâng chất lỏng lên cao hoặc khắc phục áp suất thủy lực, với  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) khối lượng riêng chất lỏng,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $h$ (m) chiều cao nâng chất lỏng hoặc cột chất lỏng.

\*  $\Delta p_\omega = \frac{\rho \omega^2}{2}$  (N/m<sup>2</sup>) là áp suất động lực học, cần để tạo dòng ra khỏi ống với tốc

độ  $\omega$ (m/s).

\*  $\Delta p_t$  (N/m<sup>2</sup>) là áp suất để khắc phục trở lực trong thiết bị.

\*  $\Delta p_f$  (N/m<sup>2</sup>) là áp suất bổ sung ở cuối ống dẫn khi cần đưa chất lỏng vào thiết bị có  $p > p_k$  hoặc để phun chất lỏng vào thiết bị, v.v...

### 3.2.2. Hệ số trở lực ma sát $\lambda$ :

Nói chung  $\lambda = f(R_e, \text{độ nhám } \varepsilon \text{ thành ống})$ .

\* Khi chảy tầng  $R_e < 2320$  (với  $R_e = \frac{\omega d}{\gamma} = \frac{\omega dp}{\mu}$ ),  $\lambda = \frac{A}{R_e} = \frac{Av}{\omega d} = \frac{A\mu}{\omega dp}$  với

$v$ (m<sup>2</sup>/s),  $\mu$ (Ns/m<sup>2</sup>) là độ nhớt động học, động lực của môi chất,  $A$  là hệ số KTN phụ thuộc hình dạng mặt cắt ngang ống.  $d = \frac{4f}{u}$  (m) là đường kính tương đương của ống.

\* Khi chảy quá độ  $2320 < R_e < 4000$  thì  $\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = 0,3164 \cdot \left( \frac{v}{\omega d} \right)^{\frac{1}{4}} =$

$0,3164 \cdot \left( \frac{\mu}{\omega dp} \right)^{\frac{1}{4}}$  là công thức thực nghiệm của Brassius.










\* Khi chảy rối  $Re > 4000$  thì:

$$\lambda = (1,8 \lg Re - 1,64)^{-2}$$

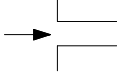
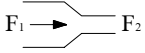
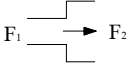

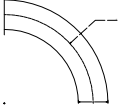
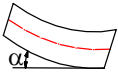
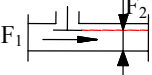
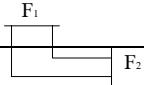
$$\text{khi } 4000 < Re < 6 \left( \frac{d}{\varepsilon} \right)^{\frac{8}{7}}$$

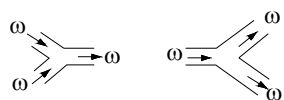
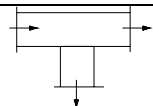
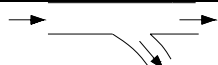
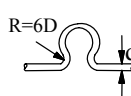
$$\lambda = (1,14 + 2 \lg \frac{d}{\varepsilon})^{-1}$$

$$\text{khi } 6 \left( \frac{d}{\varepsilon} \right)^{\frac{8}{7}} < Re < 220 \left( \frac{d}{\varepsilon} \right)^{\frac{9}{8}}$$

Mặt cắt ống	Hình dạng	A
Hình tròn		64
Hình vuông.		57
Hình tam giác đều.		53
Hình vành khăn.		96
Hình chữ nhật axb với:		
$\frac{a}{b} = \begin{cases} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,25 \\ 0,33 \\ 0,5 \end{cases}$		85
		76
		73
		69
		62

**3.2.3. Hệ số trở lực cục bộ -  $\xi$ :** xác định theo bảng sau:

STT	Loại chi tiết	Kết cấu	$\xi$				
1	Vào ống		$\xi = 0,5$				
2	Co hẹp		$\xi = 0,5 \left( 1 - \frac{F_2}{F_1} \right)^2$				
3	Vào bình		$\xi = \left( 1 - \frac{F_1}{F_2} \right)^2$				
4	Cút vuông đều		$\xi = 1,5$				
5	Cút cong $90^0$		$\frac{r}{d}$	1	1,5	2,5	$\geq 5$
			$\xi$	0,35	0,15	0,1	0
6	Cút $\alpha \neq 90^0$		$\xi = \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2,5 \sin^3 \frac{\alpha}{2}$				
7	Van lá chắn		$\xi = \left( \frac{F_1}{0,65 F_2} - 1 \right)^2$				
8	Cút vòng		$\frac{F_2}{F_1}$	0,5	1,0	2,0	

	không đều		$\xi$	1,28	1,5	4,0			
9	Phân nhánh có $\omega$ đều		$\xi = 0,2$ mỗi nhánh						
10	Tê đều		$\xi = 0,3$ mỗi nhánh						
11	Ống trích		$\xi = 0,7$						
12	Vòng bù		D(mm)	50	100	200	300	400	500
			$\xi$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

$$\Delta p_c = \xi \frac{\rho \omega^2}{2} \text{ tính theo } \omega = \omega \text{ vào chi tiết}$$

### 3.3. Phân bố áp suất môi chất trên đường ống.

#### 3.3.1. Phân bố áp suất môi chất trong ống trơn.

Xét môi chất có lưu lượng  $G(\text{kg/s})$  độ nhớt  $\nu(\text{m}^2/\text{s})$  áp suất  $p_1(\text{N/m}^2)$  chảy vào

ống trơn đường kính  $d$ . Áp suất môi chất tại  $x$  là  $p(x) = p_1 - \Delta p_m$  với  $\Delta p_m = \lambda \frac{\rho \omega^2}{2d} x$ .

$$* \text{ Nếu môi chất chảy tầng thì: } \lambda = \frac{A}{R_e} = \frac{A \gamma}{\omega d} \text{ với vận tốc } \omega \text{ tính theo } G = \rho \omega \frac{\pi}{4} d^2$$

hay sau khi thay  $\omega$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$ ,  $\Delta p_m$  ta sẽ được hàm phân bố áp suất như sau:

$$P(x) = P_1 - \frac{2\nu AG}{\pi d^4} x$$

Áp suất môi chất ra khỏi ống dài  $l$  là:

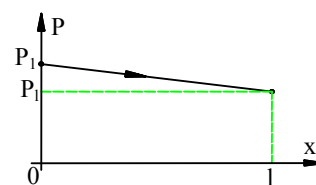
$$P = P_1 - \frac{2\nu AG}{\pi d^4} l, \text{ N/m}^2$$

- Nếu chế độ chảy thay đổi thì tính  $\lambda$ ,  $\omega$  theo công thức tương ứng

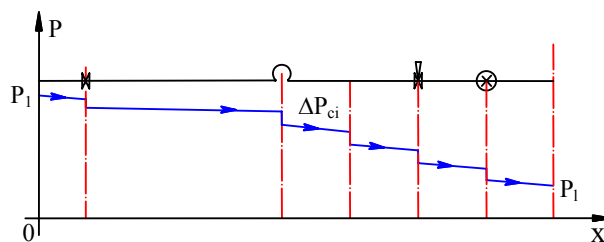
#### 3.3.2. Phân bố áp suất môi chất trên ống có $\Delta p_c$ :

Tại mỗi chi tiết cục bộ, áp suất môi chất giảm đột ngột một lượng  $\Delta p_{ci} =$

$\xi_i \frac{\rho \omega^2}{2}$ . Do đó phân bố áp suất, chẳng hạn trên ống có các  $\Delta p_{ci}$  như hình vẽ, sẽ có dạng:



**Hình 3.1: Phân bố áp suất MC trên ống trơn**



**Hình 3.2: Phân bố  $p(x)$  khi có  $\Delta p_c$**

Áp suất môi chất ra khỏi ống dài  $l$ , có  $n$  chi tiết gây tổn thất cục bộ là:

$$p(l) = p_1 - \frac{2\nu AG}{\pi d^4} l - \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{\rho \omega^2}{2}, \text{ (N/m}^2\text{)}.$$

### 3.4. Tính chọn bơm quạt cho mạng nhiệt:

#### 3.4.1. Tính chọn quạt.

\* Để làm việc ổn định với chất khí có lưu lượng thể tích  $V(\text{m}^3/\text{s})$ , nhiệt độ vào  $t_k \neq 20^\circ\text{C}$ , khi tổng trở kháng thuỷ lực là  $\Sigma \Delta p$  thì lấy áp suất  $H = 1,2 \Sigma \Delta p (\text{N/m}^2)$  và tính công suất quạt theo:  $N_q = \frac{VH}{\eta} \left( \frac{293}{t_k + 273} \right)$ , W với  $\eta \in (0,5 \div 0,8)$  là hiệu suất quạt.

Nếu tính  $H$  theo (mmH<sub>2</sub>O) vì 1mmH<sub>2</sub>O = 9,81 N/m<sup>2</sup> nên có thể tính  $N_q$  bằng (kW) theo công thức:  $N_q = \frac{VH}{102\eta} \left( \frac{293}{t_k + 273} \right)$ , (kW).

\* Công suất động cơ điện kéo quạt là:

$$N_d = K \frac{N_q}{\eta_c \eta_d},$$

Với :  $\eta_d$  là hiệu suất cơ - điện = 0,98.

$$\eta_c \text{ là hiệu suất truyền động} = \begin{cases} 1 & \text{khi nối trực tiếp} \\ 0,98 & \text{nối qua khớp nối} \\ 0,95 & \text{nối qua đai thang} \\ 0,9 & \text{nối qua đai dẹt.} \end{cases}$$

$$K: \text{ hệ số khởi động} = \begin{cases} 1,5 & \text{khi } N_q \leq 0,5 \text{ kW} \\ 1,3 & N_q \in (0,5 \div 1) \text{ kW} \\ 1,2 & N_q \in (1 \div 2) \text{ kW} \\ 1,15 & N_q \in (2 \div 5) \text{ kW} \\ 1,1 & N_q > 5 \text{ kW} \end{cases}$$

### 3.4.2. Tính chọn bơm:

\* Để bơm được lưu lượng thể tích  $V(\text{m}^3/\text{s})$  một chất lỏng có khối lượng riêng  $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$  đến độ cao  $H(\text{mH}_2\text{O})$  với  $H = 1,2\sum\Delta p$  ( $\text{mH}_2\text{O}$ ) công suất bơm là:

**Chữ do photo nên bị mất nét**

$$N_b = \frac{\rho g V H}{1000 \eta}, \text{ KW}$$

$$V = 6 \frac{D}{\rho_n} \text{ với } \rho_n = 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3.$$

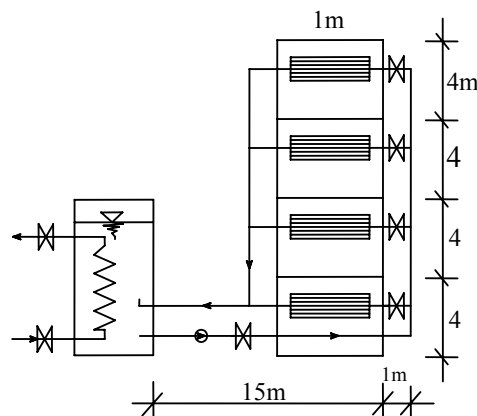
\* Công suất động cơ điện kéo bơm là:

$$N_d = K \frac{N_q}{\eta_c \eta_d}, \text{ với } K, \eta_c, \eta_d \text{ như trên.}$$

### 3.5. Ví dụ về tính thủy lực chọn bơm.

Cần cấp  $V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ , nước lạnh  $t = 1^\circ\text{C}$  có  $\rho = 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$  cho 4 dàn lạnh để điều hoà không khí cho 4 tầng nhà cao  $h = 4 \times 4 \text{ m}$ , mỗi dàn lạnh gồm 1 chùm  $n = 20$  ống song song đường kính  $d_1 = 15 \text{ mm}$ , dài  $l = 1 \text{ m}$ .

Tính chọn đường ống, tổn thất thủy lực, chọn bơm.



**Hình 3.3: Mạng ống nước**

#### 3.5.1. Tính chọn đường ống.

\* Đường ống chính từ bơm đến các dàn lạnh có đường kính là : chọn  $\omega_1 = 3 \text{ m}/\text{s}$ .

$$d_1 = \sqrt{\frac{4V_1}{\pi\omega_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{3600 \cdot 3,14 \cdot 3}} = 0,034 \text{ m}$$

\* Các ống nối vào dàn lạnh, chọn  $\omega_2 = 1,5 \text{ m}/\text{s}$  với  $V_2 = \frac{1}{4} V = 2,5 \text{ m}^3/\text{h} =$

$$0,0007 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ đường kính là: } d_2 = \sqrt{\frac{4V_2}{\pi\omega_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0007}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,024 \text{ m}.$$

\* Các ống ra dàn lạnh như ống vào, có  $d_2 = 0,024 \text{ m}$ , ống nước về bình trao đổi nhiệt như ống sau bơm,  $d_1 = 0,034 \text{ m}$ .

### 3.5.2. Tính các tổn thất áp lực.

Chọn nhánh chính từ bơm qua van cấp, qua đường ống chính, qua van điều chỉnh dần vào ống góp vào, vào ống dần lạnh, qua ống lạnh, vào ống góp ra, vào ống ra, chảy tự nhiên theo ống xuống, chảy vào bình trao đổi nhiệt.

\* Các tổn thất ma sát gồm:

- Trên ống chính có:  $R_{e1} = \frac{\omega_1 d_1}{\gamma} = \frac{3.0,034}{1,789.10^{-6}} = 57015 > 4000$  do đó hệ số ma sát

$$\lambda_1 = (1,8 \lg R_{e1} - 1,64)^{-2} = (1,8 \lg 57015 - 1,64)^{-2} = 0,021.$$

$$\text{Tổn thất áp suất } \Delta p_{ms1} = \lambda \frac{\rho \omega_1^2}{2} \frac{l_1}{d_1} = 0,021 \frac{1000.3^2(16+16)}{2.0,034} = 88941 \text{ N/m}^2.$$

- Trên nhánh ống  $d_2$ :  $R_{e2} = \frac{\omega_2 d_2}{\gamma} = \frac{1,5.0,024}{1,789.10^{-6}} = 20123 > 4000$  do đó hệ số ma

$$\lambda_2 = (1,8 \lg R_{e2} - 1,64)^{-2} = (1,8 \lg 20123 - 1,64)^{-2} = 0,027.$$

$$\text{Tổn thất áp suất } \Delta p_{ms2} = \lambda \frac{\rho \omega_2^2}{2} \frac{l_2}{d_2} = 0,027 \frac{1000.1,5.1}{2.0,024} = 1266 \text{ N/m}^2.$$

- Trong ống dần lạnh, với lưu lượng  $V_{ol} = \frac{V}{4l} = \frac{10}{3600.4.20} = 3,5.10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ , vận tốc

$$\text{chảy: } \omega_1 = \frac{V_{ol}}{f} = \frac{4V_{ol}}{\pi d_1^2} = \frac{4.3,5.10^{-5}}{3,14.0,015^2} = 0,2 \text{ m/s}.$$

$$R_{e1} = \frac{\omega_1 d_1}{\gamma} = \frac{0,2.0,015}{1,789.10^{-6}} = 1661 < 2320 \rightarrow \text{chảy tầng: } \lambda = \frac{A}{R_e} = \frac{64}{1661} = 0,039.$$

$$\Delta p_{tb} = \Delta p_{m3} = \lambda_1 \frac{\rho \omega_1^2 l}{2 d_1} = 0,039 \frac{1000.0,2^2.1}{2.0,015} = 52 \text{ N/m}^2.$$

Vậy  $\Delta p_w = \sum \Delta p_{mi} = 88941 + 1266 + 52 = 90259 \text{ N/m}^2$ . Nước chảy trong các ống ra khỏi dàn lạnh về bình trao đổi nhiệt là do thế năng, không cần tính  $\Delta p_{ms}$  ra.

\* Các tổn thất cục bộ gồm :

- Qua 2 van, coi  $F_1 = F_2 \rightarrow \xi = \left( \frac{F_1}{0,65 F_2} - 1 \right)^2 = 0,29 \rightarrow$

$$\rightarrow 2 \Delta p_{c1} = 2 \xi \frac{\rho \omega^2}{2} = 2.0,29. \frac{1000.3^2}{2} = 2610 \text{ N/m}^2.$$

- Qua 3 tê đều, với  $\xi = 0,3 \rightarrow$

$$\rightarrow 3\Delta p_{c2} = 3\xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 3.0,3 \cdot \frac{1000.3^2}{2} = 4050 \text{ N/m}^2.$$

- Qua 2 cút, với  $\xi = 0,15 \rightarrow$

$$\rightarrow 2\Delta p_{c3} = 2\xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 2.0,15 \cdot \frac{1000.3^2}{2} = 1350 \text{ N/m}^2.$$

- Vào ống góp vào của dàn lạnh: với  $\xi = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2 = 1 \rightarrow$

$$\rightarrow \Delta p_{c4} = \xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 1 \cdot \frac{1000.1,5^2}{2} = 1125 \text{ N/m}^2.$$

- Vào ống lạnh của dàn lạnh: với  $\xi = 0,5 \rightarrow$

$$\rightarrow \Delta p_{c5} = \xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{1000.0,2^2}{2} = 10 \text{ N/m}^2$$

- Vào ống góp ra của giàn lạnh:  $\xi = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2 = 1$

$$\rightarrow \Delta p_{c6} = \xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 1 \cdot \frac{1000.0,2^2}{2} = 563 \text{ N/m}^2.$$

- Ra khỏi ống góp ra: : với  $\xi = 0,5 \rightarrow$

$$\rightarrow \Delta p_{c7} = \xi \frac{\rho\omega^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{1000.1,5^2}{2} = 563 \text{ N/m}^2.$$

$$\Delta p_c = \sum \Delta p_i = 9278 \text{ N/m}^2.$$

\* Tổn thất áp suất để nâng lên  $h = 4 \times 4 = 16\text{m}$  là:

$$\Delta p_h = \rho gh = 1000.9,81.16 = 156960 \text{ N/m}^2.$$

\* Tổn thất áp suất động lúc chảy ra bình trao đổi nhiệt, với  $\omega = 3 \text{ m/s}$  là:

$$\Delta p_\omega = \frac{\rho\omega^2}{2} = \frac{1000.3^2}{2} = 4500 \text{ N/m}^2.$$

Tổng TKTL là:  $\Delta p = \Delta p_\omega + \Delta p_c + \Delta p_h + \Delta p_\omega = 260997 \text{ N/m}^2 = 2,61 \text{ mH}_2\text{O}.$

### 3.5.3. Tính chọn bơm.

Công suất bơm ly tâm  $N_b = \frac{\rho g V H}{1000 \eta}$  với  $\eta = 0,6$ ,  $H = 1,2 \Delta p = 1,2.26,6 = 31,92$

$$\text{mH}_2\text{O} \rightarrow N_b = \frac{1000.9,81.10.31,92}{3600.1000.0,6} = 1,45 \text{ W} \text{ hay } N_b = \frac{1,2 \Delta p V}{\eta} = \frac{1,2.260997.10}{3600.0,6} = 1450$$

W.



Công suất động cơ của bơm là:  $N_d = K \frac{N_b}{\eta_b \eta_d} = 1,2 \frac{1,45}{1,0,98} = 1,78 \text{ k W}$ .

Chọn động cơ có  $N = 1,8 \text{ kW}$  hoặc  $2 \text{ kW}$ .

### 3.6. Tính thiết kế quạt ly tâm.

#### 3.6.1. Các số liệu cho trước để tính thiết kế:

Lưu lượng thể tích khí  $V(\text{m}^3/\text{s})$ .

Áp suất  $p(\text{N}/\text{m}^2)$ , nhiệt độ chất khí  $T (^{\circ}\text{K})$  của khí, khối lượng riêng  $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ , tốc độ góc của rôto  $\omega(\text{rad}/\text{s})$ , áp suất khí sau quạt  $p_0$ , quy về điều kiện tiêu chuẩn ở  $T_c = 293 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ,  $p_c = 760 \text{ mmHg} = 101330 \text{ N}/\text{m}^2$  là:

$$p_0 = p \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \left( \frac{T_0}{T} \right) = p \left( \frac{1,2}{\rho} \right) \left( \frac{293}{T} \right), \text{ N}/\text{m}^2$$

$$\text{hay } p_0 = 351,6 \frac{p}{\rho T}.$$

Tính thiết kế quạt dựa vào các thông số  $V$ ,  $p_0$ ,  $\omega$ .

#### 3.6.2. Các bước tính thiết kế quạt ly tâm:

1) Tính hệ số quay nhanh, (là số vòng quay rôto khi quạt có lưu lượng  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  áp suất  $30 \text{ mmHg}$  đạt hiệu suất cực đại) theo công thức:

$$\eta_q = \frac{n\sqrt{V}}{\left( \frac{p_0}{g} \right)^{\frac{3}{4}}} \text{ với } n: (\text{vòng /phút}), g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2.$$

$$\eta_q = \frac{n\sqrt{V}}{\left( \frac{p_0}{g} \right)^{\frac{3}{4}}} = \left( \frac{60\omega}{2\pi} \right) (9,81)^{\frac{3}{4}} \frac{\sqrt{V}}{p_0^{\frac{3}{4}}} = 53 \frac{\omega\sqrt{V}}{p_0^{\frac{3}{4}}},$$

Với:  $\omega(\text{rad}/\text{s})$ ,  $V(\text{m}^3/\text{s})$ ,  $p_0(\text{N}/\text{m})$ .

2) Tính đường kính cửa hút  $D_0$ .

$$D_0 = k_0 \left( \frac{V}{\omega} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ với } k_0 = f(\eta_q) = \begin{cases} 1,65 \text{ khi } \eta_q = (20 \div 55) \\ 1,75 \text{ khi } \eta_q = (40 \div 80) \end{cases}$$

Đường kính trong rôto  $D_1$  lấy  $D_1 = D_0$

3) Tính đường kính ngoài  $D_2$  của rô to có độ rộng không đổi ( $b_1 = b = b$ ) theo

công thức:  $D_2 = k_2 \frac{D_0}{\eta_q}$  với  $k_2 = \begin{cases} 60 & \text{khi } \eta_q = (20 \div 55) \text{ cánh mức} \\ 105 & \text{khi } \eta_q = (40 \div 80) \text{ cánh gạt} \end{cases}$

4) Tính độ rộng  $B$  của hộp quạt, có miệng thổi vuông:

Lấy tiết diện thổi bằng tiết diện hút, tức:  $B^2 = \frac{\pi}{4} D_0^2$  hay có:  $B = D_0 \sqrt{\frac{\pi}{4}}$  (m).

5) Tính chiều rộng không đổi của rô to  $b$ :

Lấy  $k \times$  (tiết diện hút) = (tiết diện vào roto),  $k \frac{\pi}{4} D_0^2 = \pi D_0 b \rightarrow b = k \frac{D_0}{4}$ ,

với  $k = \begin{cases} 1,25 \div 2,5 & \text{khi cánh mức, } \eta_q = (20 \div 55) \\ 1,05 \div 1,25 & \text{khi cánh gạt, } \eta_q = (40 \div 80) \end{cases}$

Chọn  $k$  tăng khi  $\frac{D_0}{D_2}$  tăng.

6) Tính độ mở của hộp xoắn ốc:

Độ mở hay khoảng cách lớn nhất từ mép Rôto đến vỏ ống thổi của hộp xoắn là  $A$  tính theo:

$$A = \frac{\eta_q D_2}{K} \text{ với } K = \begin{cases} 90 & \text{khi cánh mức, } \eta_q = (20 \div 55) \\ 125 & \text{khi cánh gạt, } \eta_q = (40 \div 80) \end{cases}$$

Bước xoắn của hộp xoắn  $a = \frac{A}{4} = \frac{\eta_q D_2}{4K}$ .

7) Tính các bán kính của vỏ xoắn ốc theo:

$$r_1 = \sqrt{\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \frac{a}{2} = \frac{1}{2}(\sqrt{D_2^2 - a^2} + a), r_2 = r_1 + a, r_3 = r_1 + 2a, r_4 = r_1 + 3a.$$

Các kích thước chính của vỏ quạt dài, cao rộng là:

Dài:  $l = r_3 + r_4 = 2r_1 + 5a$ .

Cao:  $h = r_1 + r_4 = 2r_1 + 3a$ .

Rộng:  $B = D_0 \sqrt{\frac{\pi}{4}}$ .

8) Tính số cánh quạt:  $z = \pi \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1}$  sau đó làm tròn theo bội số của 4 và 6 (suy

từ: bước cánh trung bình = chiều dài cánh:  $\frac{\pi \left(\frac{D_1 + D_2}{2}\right)}{z} = \left(\frac{D_2 - D_1}{2}\right)$

9) Chọn góc đặt cánh:

Góc vào  $\beta_1 = (40 \div 80)^0$ .

Góc ra  $\beta_2 = \begin{cases} (140 \div 160)^0 C & \text{khi cánh gạt, } \eta_q = (40 \div 80) \\ (20 \div 40)^0 C & \text{khi cánh mức, } \eta_q = (20 \div 55) \end{cases}$

10) Tính công suất quạt.

$$\eta = \frac{V_p}{1000\eta}, (\text{kW}), \text{ với } \begin{cases} V(\text{m}^3/\text{s}) \\ p(\text{N/m}^2) \end{cases} \text{ và hiệu suất quạt}$$

$$\eta = \begin{cases} 0,55 \div 0,6 & \text{khi cánh gạt, } \eta_q = (40 \div 80) \\ 0,6 \div 0,7 & \text{khi cánh mức, } \eta_q = (20 \div 55) \end{cases}$$

Công suất động cơ điện:  $N_d = K \frac{N_q}{\eta_q \eta_d}$  như mục 4.

### 3.6.3. Ví dụ về tính thiết kế quạt:

*Bài toán:* cần thiết kế chế tạo 1 quạt khối nóng có:  $V = 10.000\text{m}^3/\text{h} = 2,78\text{m}^3/\text{s}$ , áp suất  $p = 200 \text{ mmHg}_2\text{O}$  ở  $t = 200^0\text{C}$ ,  $\rho = 0,748 \text{ kg/m}^3$ , tốc độ quay  $\omega = 1450 \text{ v/phút} = 152 \text{ rad/s}$ .

Tính đổi về điều kiện tiêu chuẩn, áp suất quạt là:

$$p_0 = p \left( \frac{1,2}{\rho} \right) \left( \frac{293}{T} \right) = 200.9,81. \left( \frac{1,2}{0,748} \right) \left( \frac{293}{200+273} \right) = 1950 \text{ N/m}^2.$$

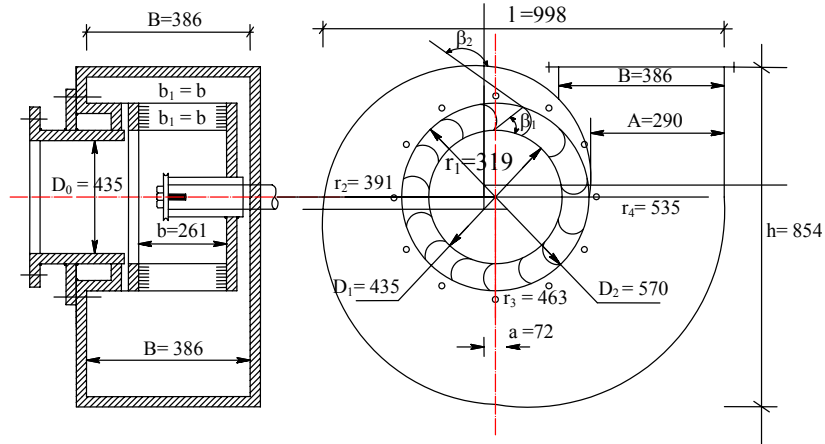
Vậy các thông số cần thiết của quạt là:

$$\begin{cases} V = 2,78\text{m}^3/\text{s} \\ p_0 = 1950\text{N/m}^2 \\ \omega = 152\text{rad/s} \end{cases}$$

Các bước tính thiết kế như sau:

Bước tính	Tên thông số	Công thức tính	Số liệu tính	Kết quả
1	Hệ số quay nhanh	$\eta_q = 53 \frac{\omega \sqrt{V}}{p_0^{\frac{3}{4}}}$	$53 \frac{152 \sqrt{2,78}}{1950^{\frac{3}{4}}}$	45,77 $\in (20 \div 55)$
2	Đường kính hút $D_0$ = đường kính trong rôto	$D_0 = D_1 = k_1 \left( \frac{V}{\omega} \right)^{\frac{1}{3}}$	$1,65 \left( \frac{2,78}{152} \right)^{\frac{1}{3}}$	0,435 m

3	Đường kính ngoài rôto	$D_2 = k_2 \frac{D_0}{\eta_q}$	$60 \frac{0,435}{45,77}$	0,570 m
4	Rộng hộp quạt	$B = D_0 \sqrt{\frac{\pi}{4}}$	$0,435 \sqrt{\frac{3,14}{4}}$	0,386 m
5	Rộng rôto	$b = k \frac{D_0}{4}$	$2,4 \frac{0,435}{4}$	0,261 m
6	Độ mở bước xoắn	$A = \frac{\eta_q D_2}{K}$	$\frac{45,77 \cdot 0,57}{90}$	0,290 m
		$a = \frac{1}{4} A$	$\frac{1}{4} \cdot 0,290$	0,072 m
7	Bán kính xoắn	$r_1 = \frac{1}{2} (\sqrt{D_2^2 - a^2} + a)$	$\frac{1}{2} (0,072 \sqrt{0,57^2 - 0,072^2})$	0,319 m
		$r_2 = r_1 + a$	0,319 + 0,072	0,391 m
		$r_3 = r_2 + a$	0,391 + 0,072	0,463 m
		$r_4 = r_3 + a$	0,463 + 0,072	0,535 m
	Dài hộp	$l = r_3 + r_4$	0,463 + 0,535	0,998 m
	Cao hộp	$h = r_1 + r_4$	0,319 + 0,535	0,854 m
8	Số cánh quạt	$z = \pi \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1}$	$3,14 \cdot \frac{0,57 + 0,435}{0,57 - 0,435}$	23,4 → 24
9	Góc vào	$\beta_1 = (40 \div 80)^\circ$		$60^\circ$
	Góc ra	$\beta_2 = (140 \div 160)^\circ$		$150^\circ$
10	Công suất quạt	$N_q = \frac{V_p}{1000 \eta}$	$\frac{2,78 \cdot 1950}{1000 \cdot 0,55}$	9,86 kW
	Công suất động cơ	$N_d = K \frac{N_q}{\eta_q \eta_d}$	$1,1 \cdot \frac{9,86}{0,98 \cdot 0,95} = 11,6$	12 kW



**Hình 3.4: Quạt khối  $V = 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $p = 200 \text{ mmHg}$ ,  $t = 200^\circ \text{C}$ ,  $\omega = 152 \text{ rad/s}$  cho RJ Reynolds Tobacco Co, Ltd, Đà Nẵng**

### 3.7. Tính thời gian chất lỏng chảy cạn thùng.

#### 3.7.1. Chất lỏng chảy cạn thùng trụ

1) *Phát biểu bài toán:* Tính thời gian chất lỏng chảy cạn bình trụ bán kính  $r_1$ , cao  $h$ , qua lỗ bán kính  $r_0$  tại đáy.

2) Lập công thức tính  $\tau$ :

- Vận tốc  $\omega(y)$  qua  $r_0$  khi mức lỏng cao  $y$  xác định theo phương trình cân bằng năng lượng  $\rho gy = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \Rightarrow \omega(y) = \sqrt{2gy}$ , [m/s]

- Lưu lượng thể tích  $V(y)$  qua  $r_0$  khi mức lỏng  $y$  là

$$V(y) = \omega(y) f(r_0) = \pi r_0^2 \sqrt{2gy}, \text{ [m}^3/\text{s]}$$

- Phương trình cân bằng thể tích sau  $d\tau$  là :

$$\bar{V}(y) d\tau = -f(r_1) dy \Rightarrow -\pi r_1^2 dy = \pi r_0^2 \sqrt{2gy} d\tau \Rightarrow$$

$$d\tau = -\left(\frac{r_1}{r_0}\right)^2 \frac{dy}{\sqrt{2gy}} \Rightarrow \int_0^\tau d\tau = \left(\frac{r_1}{r_0}\right)^2 \int_h^0 y^{-1/2} dy = \left(\frac{r_1}{r_0}\right)^2 \frac{2}{\sqrt{2g}} \sqrt{y} \Big|_h^0$$

$$\tau_t = \left(\frac{r_1}{r_0}\right)^2 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$3) \text{ Ví dụ : } \tau = \left(\frac{1\text{m}}{0,01\text{m}}\right)^2 \sqrt{\frac{2 \times 1\text{m}}{9,81\text{m/s}^2}} = 4515\text{s} = 1\text{h}15\text{ph}15\text{s}$$

#### 3.7.2. Chảy cạn bình cầu

1) Phát biểu bài toán : Tính thời gian để chất lỏng trong bình cầu bán kính  $r_1$  chảy cạn qua lỗ đáy bán kính  $r_0$

2) Lập công thức tính  $\tau$  : chọn trục y qua tâm, có chiều như **hình 30**

- Vận tốc  $\omega(y) \sqrt{2gy}$ , lưu lượng qua  $r_0$  là :  $V(y) = \pi r_0^2 \sqrt{2gy}$  như trên .

- Phương trình cân bằng thể tích  $dV = Vd\tau = -f(y)dy$  với :

$$f(y) = \pi r^2(y) = \pi (r_1^2 - (y - r_1)^2) = \pi (2r_1 y - y^2)$$

$$\Rightarrow d\tau = \frac{-f(y)dy}{V(y)} = \frac{-\pi(2r_1 y - y^2)}{\pi r_0^2 \sqrt{2gy}} dy = \frac{-1}{r_0^2 \sqrt{2g}} (2r_1 y^{1/2} - y^{3/2}) dy$$

$$\Rightarrow \int_0^\tau d\tau = \frac{-1}{r_0^2 \sqrt{2g}} \int_{2r_1}^0 (2r_1 y^{1/2} - y^{3/2}) dy = \frac{-1}{r_0^2 \sqrt{2g}} \left[ \frac{4r_1}{3} y^{3/2} - \frac{2}{5} y^{5/2} \right]_0^{2r_1}$$

$$= \frac{-1}{r_0^2 \sqrt{2g}} \cdot \frac{2^{9/2}}{15} r_1^{5/2} = \frac{16}{15} \left( \frac{r_1}{r_0} \right)^2 \sqrt{\frac{r_1}{g}} = \tau_c$$

$$3) \text{ Ví dụ : } \tau = \frac{16}{15} \left( \frac{1\text{m}}{0,01\text{m}} \right)^2 \sqrt{\frac{1\text{m}}{9,81}} = 3406\text{s} = 56\text{ph}46\text{s}.$$

### 3.7.3. Tính thời gian chảy cạn bình nón.

1) Phát biểu bài toán : Cho nón có  $(r_1 \times h \times r_0)$  đựng chất lỏng. Tính thời gian chảy cạn qua  $r_0$ . **Hình 31**

2) Lập công thức :

- Vận tốc  $\omega(y) \sqrt{2gy}$ , lưu lượng qua  $r_0$  là :  $V(y) = \pi r_0^2 \sqrt{2gy}$

- Phương trình cân bằng thể tích  $dV = Vd\tau = -f(y)dy = -\pi r^2 dy \Rightarrow$

$$dV = Vd\tau = -\pi \left( \frac{r_1}{h} y \right)^2 dy \Rightarrow d\tau = \frac{-\pi r^2}{V(y)} dy = \frac{-r_1^2 y^2}{h^2 r_0^2 \sqrt{2gy}} dy$$

$$\Rightarrow \int_0^\tau d\tau = \frac{-r_1^2}{r_0^2 h^2 \sqrt{2g}} \int_h^0 y^{3/2} dy \Rightarrow \tau_n = \frac{1}{5} \left( \frac{r_1}{r_0} \right)^2 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$3) \text{ Ví dụ : } \tau_n = \frac{1}{5} \left( \frac{1\text{m}}{0,01\text{m}} \right)^2 \sqrt{\frac{2 \times 1}{9,81\text{m/s}^2}} = 903\text{s}$$

### 3.7.4. Chảy cạn bình tam giác (nón úp)

1) Phát biểu bài toán : Tìm thời gian để chất lỏng chảy hết qua lỗ đáy nón bán kính  $r_0$ , nón có  $r_1/r_0 \times h$ . **Hình 32**

2) Lập công thức :

- Vận tốc  $\omega(y) \sqrt{2gy}$ , lưu lượng qua  $r_0$  là :  $V(y) = \pi r_0^2 \sqrt{2gy}$

- Phương trình cân bằng thể tích  $dV = Vd\tau = -f(y)dy$

với  $f(y) = \pi r^2(y) = \pi r_1^2 \left(1 - \frac{y}{h}\right)^2$

$$\Rightarrow \int_0^{\tau} d\tau = -\frac{r_1^2}{r_0^2 \sqrt{2g}} \int_0^h \left( y^{-1/2} - \frac{2}{h} y^{1/2} + \frac{1}{h^2} y^{3/2} \right) dy \Rightarrow \tau_{\Delta} = \frac{8}{15} \left( \frac{r_1}{r_0} \right)^2 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

3) Ví dụ :  $\tau_n = \frac{8}{15} \left( \frac{1m}{0,01m} \right)^2 \sqrt{\frac{2 \times 1}{9,81m/s^2}} = 2408s = 40ph8s$

So sánh thời gian chảy cạn của bình cầu với các bình còn lại khi cùng  $r_0, r_1 = h =$

$2r_{\text{cầu}}$ .


**Bài tập :** Cho bình kín có ( $d, h_c, \delta, \lambda, n, \sigma_{cp}$ ) đựng nước có ( $\rho, C_p, t_0$ ) trong không khí có ( $t_f, \alpha$ ). Tìm hàm  $t(\tau)$  của nước , tính ( $p_n, t_n, \tau_n, Q_n$ ). **Hình 33**

TS	GT	TS	GT
D	0,2m	n	2,5(HSAT)
h	0,1m	$\sigma_{cp}^*$	120Mpa
$h_c$	0,1m	$t_0 = t_f$	30 <sup>0</sup> C
$\delta$	0,002m	$\alpha$	10W/m <sup>2</sup> K

P = (1000/1250/1500/1750/2000)

LG : 1) Tìm  $t(\tau)$  theo  $Pd\tau = \rho VC_p dt + \alpha F(t - t_f)d\tau$ , bỏ qua  $du = \rho_v F \delta C_v dt = 0$

$$\Rightarrow t(\tau) = t_m - (t_m - t_0) \exp\left(-\frac{\alpha F}{\rho VC_p} \tau\right) \text{ với } t_m = t_f + \frac{P}{\alpha F}, F = \pi D h + 2 \cdot \frac{\pi D}{2} \sqrt{h_c^2 + (D/2)^2} =$$

0,107m<sup>2</sup>.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h + \frac{\pi}{4} D^2 \frac{h_c}{3} = 0,004m^3.$$

2) Tính áp suất nổ bình theo  $p_n$  của đáy côn có  $\cos \alpha = \frac{h_c}{\sqrt{h_c^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} = 0,707$  là :

$$P_n = \frac{2k(\delta - c)\cos\alpha \cdot (n\sigma_{cp}^*)}{D + \delta + c} = \frac{2 \cdot 1(0,002 - 0)0,707 \cdot (120 \cdot 2,5)}{0,2 + 0,002 - 0} = 4,2 \text{ Mpa} = 42 \text{ bar}$$

$$\text{Nhiệt độ MC khi nổ là : } t_n = t_s(P_n) = \frac{4026,12}{12,031 - \ln P_n} - 235 = 250^\circ\text{C}.$$

3) Tính  $t_m$ ,  $\tau_n$ ,  $Q_n$  theo  $t(\tau) = t(\tau, P)$  như bảng sau :

Các TS, công thức tính	1000W	1250W	1500W	1750W	2000W
$t_m = t_f + \frac{P}{\alpha F}$	965 <sup>0</sup> C	1198 <sup>0</sup> C	1432 <sup>0</sup> C	1666 <sup>0</sup> C	1899 <sup>0</sup> C
$\tau_n = \frac{\rho V C_p}{\alpha F} \ln \frac{t_m - t_0}{t_m - t_n}$	4763s = 79f23s	3588s = 59f48s	2910s = 48f30s	2329s = 38f49s	2109s = 35f9s
$Q_n = \frac{\rho V C_p (t_n - t_s)}{\tau_N}$	26MW = 0,83kgTMT	26MW = 0,83kgTMT	26MW = 0,83kgTMT	26MW = 0,83kgTMT	26MW = 0,83kgTMT

Hình 34

$$\text{GC : 1) Nếu } h = 0,2\text{m thì } F = \pi D h + 2 \cdot \frac{\pi D}{2} \sqrt{h_c^2 + (D/2)^2} = 0,215\text{m}^2.$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h + 2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \frac{h_c}{3} = 0,00838\text{m}^3 \Rightarrow m = \rho V = 8,38\text{kg}$$

Khi đó  $p_n$ ,  $t_n$  như trên còn  $t_m$ ,  $\tau_n$ ,  $Q_n$  theo bảng sau :

Các TS, công thức tính	1000W	1250W	1500W	1750W	2000W
$t_m = t_f + \frac{P}{\alpha F}$	495 <sup>0</sup> C	611 <sup>0</sup> C	728 <sup>0</sup> C	844 <sup>0</sup> C	960 <sup>0</sup> C
$\tau_n = \frac{m C_p}{\alpha F} \ln \frac{t_m - t_0}{t_m - t_n}$	10110s = 2,9h	7753s = 2,15h	6168s = 1,7h	5133s = 1,42h	4398s = 1,2h
$Q_n = \frac{m C_p (t_n - t_s)}{\tau_N}$			53MW = 1,7kgTMT		



2) Nếu thay  $h = 0,2\text{m}$  ;  $h_c$  (dưới)  $= 0,05\text{m}$ ,  $h_{\text{cầu trên}} = 0,1\text{m}$ , dày  $\delta = 0,003\text{m}$  thì sự cố nổ xảy ra ở đáy côn, với  $\cos\alpha = \frac{h_c}{l} = 0,448$ , tại

$$p_n = \frac{2.1(0,003 - 0)0,448.(120.2,5)}{0,2 + 0,003 - 0} = 3,9724\text{Mpa} = 39,7\text{bar}$$

$$t_n = t_s(P_n) = \frac{4026,12}{12,031 - \ln P_n} - 235 = 247^0\text{C} \text{ (cx } 249^0\text{C)}. \text{ Khi đó có}$$

$$F = \pi D h + 2 \cdot \frac{\pi D}{2} \sqrt{h_c^2 + (D/2)^2} \neq \frac{\pi D^2}{2} = 0,18\text{m}^2$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h + 2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \frac{h_c}{3} = 0,00733\text{m}^3 \# 7,33\text{kg H}_2\text{O}.$$

Cho tiếp  $P = (1500/1750/2000/2250/2500)$  thì có:

Các TS, công thức tính	1500W	1750W	2000W	2250W	2500W
$t_m = t_f + \frac{P}{\alpha F}$	863 <sup>0</sup> C	1002 <sup>0</sup> C	1141 <sup>0</sup> C	1280 <sup>0</sup> C	1419 <sup>0</sup> C
$\tau_n = \frac{mC_p}{\alpha F} \ln \frac{t_m - t_0}{t_m - t_n}$	1h27f	1h13f	1h3f	55f	49f

3) Đáy trụ và cầu nổ tại  $p_n$  là : (tại  $\delta = 3\text{mm}$ )

$$P_n = \frac{2(\delta - c).n\sigma_{cp}^*}{D + \delta - c} = \frac{2.2,5.120.0,003}{0,2 + 0,003} = 8,87\text{Mpa} = 88,7\text{bar}$$

$$P_{n_c} = \frac{8h_c(\delta - c)kz.n\sigma_{cp}^*}{D^2 + 2h_c(\delta - c)} = \frac{8.0,1.0,003.1.1.2,5.120}{0,2^2 + 2.0,1.0,003} = 17,7\text{Mpa} = 177\text{bar}$$

$$t_n = \frac{4026,12}{12,031 - \ln 177} - 235 = 352^0\text{C} \text{ (cx } 354^0\text{C)}$$

## Chương 4

### PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ VÀ CHUYỂN PHA CỦA MÔI CHẤT TRONG ỐNG.

#### 4.1. Phân bố nhiệt độ của môi chất không đổi pha trong ống trơn.

**4.1.1. Bài toán:** Xét đường ống có nhiệt trở  $R_l$ , dài  $l$  dẫn môi chất có lưu lượng  $G$ (kg/s), nhiệt dung riêng  $C_p$ , nhiệt độ vào ống  $t_1$ , đặt trong môi trường nhiệt độ  $t_0$ .

Tính nhiệt độ ra  $t_2$  và tổn thất nhiệt  $Q$ .

**4.1.2. Tính gần đúng nhiệt độ ra  $t_2$ .**

Phương trình cân bằng nhiệt khi ổn định nhiệt có dạng:

(Độ giảm entanpi,  $\Delta I$ ) = (Tổn thất nhiệt qua ống,  $Q$ ), hay:

$$GC_p(t_1 - t_2) = \frac{\bar{t} - t_0}{R_l} l \text{ với giả thiết gần đúng rằng luật giảm nhiệt độ môi chất trong}$$

ống là tuyến tính thì  $\bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ . Do đó giải phương trình:  $GC_p(t_1 - t_2) =$

$$\frac{l}{R_l} \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - t_0 \right) \text{ sẽ được } t_2 = \frac{(2R_l GC_p - l)t + 2lt_0}{2R_l GC_p + l}, (^{\circ}\text{C}).$$

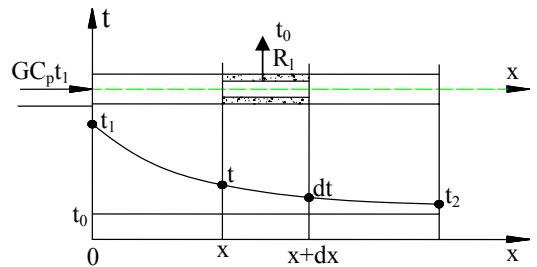
$$\text{Khi đó có } Q = \frac{t_1 + t_2 - 2t_0}{2R_l} l, (\text{W}).$$

**4.1.3. Phân bố nhiệt độ  $t(x)$  trong ống trơn.**

Phương trình cân bằng nhiệt cho môi chất trong đoạn ống ( $x \div x + dx$ ) lúc ổn định là:  $dI = \delta Q$ . Hay  $-GC_p dt =$

$$\frac{t - t_0}{R_l} dx \rightarrow \frac{dt}{t - t_0} = \frac{-dx}{GC_p R_l}. \text{ Lấy tích phân}$$

phương trình theo  $dx \in (0 \div x)$  tương ứng  $dt \in (t_1 \div t)$ .



**Hình 4.1: Phân bố  $t(x)$  trong ống trơn**

$$\int_{t_1}^t \frac{dt}{t - t_0} = - \int_0^x \frac{dx}{GC_p R_l} \rightarrow \ln \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{-x}{GC_p R_l}$$

$$\text{hay } t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{GC_p R_l}\right).$$

Phân bố có dạng như hình 4.1, với  $\lim_{x \rightarrow \infty} t(x) = t_0$ .

**4.1.4. Nhiệt độ của môi chất ra khỏi ống chính xác là:**

$$t_2 = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-l}{GC_p R_l}\right), ^{\circ}\text{C}.$$

Tổn thất nhiệt qua ống chính xác là:

$$Q = GC_p(t_1 - t_2) = GC_p(t_1 - t_2) \left( 1 - e^{\frac{-1}{GC_p R_1}} \right), \text{ W.}$$

#### 4.1.5. Ví dụ 1:

Tính chính xác nhiệt độ ra  $t_2$  và  $Q$  của ống trơn có  $\frac{d_c}{d} = \frac{160}{60}$ ,  $\lambda_c = 0,03 \text{ W/mK}$ ,  $l = 50 \text{ m}$ , môi chất là dầu vào ống có  $t_1 = 120^\circ \text{C}$ ,  $G = 360 \text{ kg/h} = 0,1 \text{ kg/s}$ ,  $C_p = 1,88 \text{ kJ/kgK}$ , đặt trong không khí có gió  $\omega = 3 \text{ m/s}$ , nhiệt độ  $t_0 = 30^\circ \text{C}$ .

Giải:

$$1) \text{ Tính } R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_c}{d} + \frac{1}{\pi d_c (11,6 + 7\sqrt{\omega})} = 5,29 \text{ mK/W.}$$

$$2) \text{ Phân bố } t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot e^{\frac{-x}{GC_p R_1}} = 30 + 90 \exp(-0,001x). \text{ Nhiệt độ ra: } t_2 = 30 + 90e^{-0,001 \cdot 50} = 115,61^\circ \text{C.}$$

$$3) \text{ Tổn thất nhiệt: } Q = GC_p(t_1 - t_2) = 827,2 \text{ W.}$$

Nhận xét: Nếu tính theo công thức gần đúng thì:

$$t_2 = \frac{(2R_1 GC_p - 1)t_1 + 2t_0}{2R_1 GC_p + 1} = \frac{(2 \cdot 5,29 \cdot 0,1 \cdot 1880 - 50)120 + 2 \cdot 50 \cdot 30}{2 \cdot 5,29 \cdot 0,1 \cdot 1880 + 50} = 115,586$$

$$\text{sai số } \left| 1 - \frac{115,586}{115,61} \right| = 0,02\%.$$

$$Q = \frac{t_1 - t_0}{R_L} l = \frac{120 - 30}{5,29} 50 = 850,6 \text{ W, sai số } \left| 1 - \frac{850,6}{827,2} \right| = 2,8\%.$$

## 4.2. Phân bố nhiệt độ MC một pha trong ống có tổn thất thủy lực $\Delta p \neq 0$ .

### 4.2.1. Độ giảm nhiệt độ do tiết lưu.

Các công thức trên chưa kể tới độ giảm nhiệt độ do tiết lưu khi áp suất môi chất giảm trong ống để thắng trở kháng thủy lực.

Nếu trên đoạn ống có tổng trở kháng thủy lực bằng  $\Delta p$ , thì khi  $p$  giảm sinh ra độ giảm nhiệt độ của khí thực  $\Delta t$ , xác định theo phương trình tiết lưu:  $\Delta t = \frac{\partial t}{\partial p} \Delta p$ , trong

đó có thể lấy:

$$\text{khi hơi có } \begin{cases} p_1 = (0,5 \rightarrow 1,5) \text{ Mpa} \\ t_1 = (300 \div 350)^\circ \text{C} \end{cases}$$

khi  $(t_1, p_1)$  gần đường  $x = 1$

$$\frac{\partial t}{\partial p} = \begin{cases} (12 \div 14) \cdot 10^{-6} \text{ K/Pa} \\ (25 \div 30) \cdot 10^{-6} \text{ K/Pa} \end{cases}$$

#### 4.2.2. Khi môi chất chảy tầng trong ống trơn: ( $\Delta p_c = \Delta p_h = 0$ ).

Theo 3.1) trở kháng thủy lực tại đoạn ống ( $0 - x$ ) là:

$$\Delta p = \Delta p_m = \lambda \frac{\rho \omega^2}{2d} x = \frac{2\gamma\gamma A}{\pi d^4} x.$$

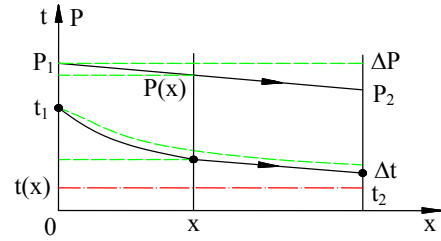
Độ giảm  $\Delta t$  do  $\Delta p$  gây ra là:  $\Delta t = \frac{\partial t}{\partial p} \Delta p_m \rightarrow \Delta t = \frac{\partial t}{\partial p} \lambda \frac{\rho \omega^2}{2d} x \rightarrow$  phân bố nhiệt độ

môi chất trong ống là: 
$$t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{GC_p R_e}\right) - \frac{\partial t}{\partial p} \lambda \frac{\rho \omega^2}{2d} x$$

$$= t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{GC_p R_e}\right) - \frac{2\nu AG}{\pi d^4} \left(\frac{\partial t}{\partial p}\right) x$$

Phân bố áp suất  $p(x)$  và nhiệt độ  $t(x)$  của môi chất khí trong ống trơn có dạng như hình 4.2.

Khi môi chất chảy quá độ hoặc rối trong ống trơn thì lấy  $\lambda$  tương ứng theo mục 2.2).

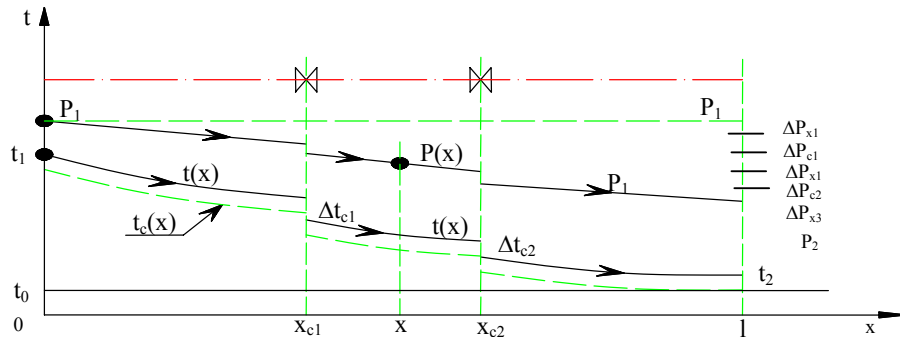


**Hình 4.2: Phân bố  $p(x)$ ,  $t(x)$  trong ống đơn**

#### 4.2.3. Khi có trở lực cục bộ.

Khi trên đoạn ống ngang ( $\Delta p_h = 0$ ) có các trở kháng cục bộ  $\Delta p_{ci}$ , thì tổn thất áp

lực là: 
$$t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{GC_p R_e}\right) - \frac{\partial t}{\partial p} \frac{\rho \omega^2}{2d} \left(\lambda \frac{x}{d} + \sum \xi_i\right).$$



**Hình 4.3: Phân bố  $t(x)$ ,  $p(x)$  trong ống có  $\Delta p$**

#### 4.2.4. Phân bố nhiệt độ trong lớp cách nhiệt trên đường ống.

Gọi  $t_c(x)$  là nhiệt độ mặt ngoài lớp cách nhiệt của đường ống có  $R_{\alpha 1} = R_{\delta} = 0$  thì:

Phương trình cân bằng nhiệt cho 1m ống tại mặt cắt x là:

$$(q_l \text{ từ MC ra MT}) = (q_l \text{ qua lớp CN}) \text{ hay: } \frac{t(x) - t_0}{R_l} = \frac{t(x) - t_c(x)}{R_c},$$

$$\text{giải ra được } t_c(x): \quad t_c(x) = \left(1 - \frac{R_c}{R_l}\right) t(x) + \frac{R_c}{R_l} t_0 \text{ hay:}$$

$$t_c(x) = \left(1 - \frac{R_c}{R_l}\right) \left[ t_0 + (t_1 - t_0) \exp \frac{-x}{GC_p R_l} - \frac{\partial p}{\partial t} \frac{\rho \omega^2}{2} \left( \lambda \frac{x}{d} + \sum \xi_i \right) \right] + \frac{R_c}{R_l} t_0$$

Các phân bố  $t(x)$  của MC và  $t_c(x)$  trong lớp CN được mô tả trên hình 31.

#### 4.2.5 Ví dụ về phân bố $t(x)$ , $t_c(x)$ trên ống có $\Delta p_c$ .

Tìm phân bố  $t(x)$ ,  $t_c(x)$ ,  $t_2(l)$ ,  $t_{2C}(l)$ ,  $Q$  trên đường ống dẫn hơi quá nhiệt có  $G = 6000 \text{ kg/h}$ ,  $p_1 = 10 \text{ bar}$ ,  $t_1 = 300^\circ\text{C}$ ,  $C_p = 1,92 \text{ kJ/kgK}$ ,  $\rho = 3,88 \text{ kg/m}^3$ ,  $v = 0,128 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  đường ống có  $d_c/d = 150/100$ ,  $\lambda_c = 0,1 \text{ W/mK}$ ,  $l = 100 \text{ m}$  có 2 van có  $\xi = 0,3$  đặt trong không khí có  $t_0 = 30^\circ\text{C}$ ,  $\omega = 3 \text{ m/s}$ .

Giải: Tính các lượng  $R_l$ ,  $\omega$ ,  $\lambda$ ,  $R_c$  trong công thức 2.4:

$$R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,1} \ln \frac{150}{100} = 0,645 \text{ mK/W}$$

$$R_l = R_c + \frac{1}{\pi d_c (11,6 + 7\sqrt{\omega})} = 0,645 + \frac{1}{\pi \cdot 0,15 (11,6 + 7\sqrt{3})} = 0,734$$

$$\omega = \frac{4G}{\pi \rho d^2} = \frac{4 \cdot 6000}{3600 \cdot \pi \cdot 3,88 \cdot 0,1^2} = 54,7 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\omega d}{v} = \frac{54,7 \cdot 0,1}{0,128 \cdot 10^{-6}} = 42734375 > 4000$$

$\Rightarrow$  hệ số ma sát  $\lambda = (1,8 \lg Re - 1,64)^{-2} = 0,03 \Rightarrow$  phân bố nhiệt độ:

$$t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) e^{\frac{-x}{R_l GC_p}} - \frac{\partial t}{\partial p} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \left( \lambda \frac{x}{d} + \sum \xi_i \right)$$

$$t(x) = 30 + (300 - 30) e^{\frac{-x}{0,734 \cdot \frac{6000}{3600} \cdot 1920}} - 25 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,88 \cdot 54,7^2}{2} \cdot \left( \frac{0,03x}{0,1} + 2 \cdot 0,3 \right)$$

$$\begin{aligned}t(x) &= 30 + 270 e^{-4,26 \cdot 10^{-4} x} - 0,0435x + 0,087 = \\&= 270 \exp(-0,000426x) - 0,0435x + 0,087, ^\circ\text{C} \\t_c(x) &= \left(1 - \frac{R_c}{R_l}\right) t(x) + \frac{R_c}{R_l} t_0 = \left(1 - \frac{0,645}{0,734}\right) t(x) + \frac{0,645}{0,734} t_0 \\&= 0,12 t(x) + 26,4, ^\circ\text{C} = 32,4 \exp(-0,000462x) - 0,00522x + 3,6, ^\circ\text{C} \\t_2 = t(l=100) &= 284,5 ^\circ\text{C} \\Q = GC_p (t_1 - t_2) &= \frac{6000}{3600} 1,92 (300 - 284,5) = 49,6 \text{ kW} \\t_c(x=0) &= 32,4 + 3,6 = 36 ^\circ\text{C}, t_c(x=100) = 34,1 ^\circ\text{C}. \text{ Hình 32}\end{aligned}$$

### 4.3. Sự chuyển pha của MC trong đường ống

#### 4.3.1. Mô tả quá trình (chuyển pha) ngưng tụ của MC trên ống

Khảo sát hơi quá nhiệt nhiệt độ  $t_1$  có áp suất  $p_1$  (ứng với  $t_{s1}$  bão hoà) vào ống đặt trong môi trường có  $t_0 < t_1$ . **hình 33**

Trong đoạn ống ( $0 \rightarrow x_n$ ), hơi quá nhiệt (HQN) giảm nhiệt độ do toả nhiệt, từ  $t_1$  đến  $t_s(p(x_n))$  theo luật phân bố nêu ở mục trên. Tại  $x_n$  HQN đạt nhiệt độ  $t_s$  (bằng  $t_{s1}$  khi  $\Delta p = 0$  hoặc bằng  $t_s(p(x_n))$  khi  $\Delta p \neq 0$ ) và trở thành hơi bão hoà khô ( $x = 1$ ). Tại  $x_n$  hơi bắt đầu ngưng tụ.

- Trong đoạn ống ( $x_n \rightarrow x_N$ ) xảy ra sự ngưng tụ hơi bão hoà khô, tạo ra hơi ẩm có  $x$  giảm từ 1 đến 0. Quá trình ngưng tụ khi  $\Delta p = 0$  là  $p = \text{const} = p_1$  và  $t_s = \text{const} = t_{s1}$ , khi có  $\Delta p \neq 0$  là  $p$  giảm theo luật (3.) và do đó  $t_s$  giảm theo luật  $t_s(p(x))$ , xác định theo thực nghiệm bởi quan hệ  $t_s = t_s(p)$ . Tại  $x_N$ , toàn bộ hơi ngưng tụ thành lỏng sôi, có độ khô  $x = 0$ , nhiệt độ  $t_s(p(x_N))$

- Đoạn ống ( $x_N \rightarrow l$ ) chất lỏng sôi hạ nhiệt độ thành lỏng chưa sôi từ  $t_s(p(x_N))$  đến  $t_2(l)$  theo luật phân bố nêu ở mục 1 và 2 nói trên.

#### 4.3.2. Xác định vị trí ngưng tụ, $x_n$

\* Khi  $\Delta p = 0$ , phân bố nhiệt độ HQN trong ống là  $t(x) = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{R_l GC_p}\right)$ , tại  $x_n$  có  $t_{s1} = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x}{R_l GC_p}\right)$  do đó tìm được :

$$x_n = R_l GC_p \ln \frac{t_1 - t_0}{t_{s1} - t_0}, (\text{m})$$

\* Khi  $\Delta p = p_1 - p(x_n) \neq 0$  thì  $t_s = t_s(p(x_n))$  và tại vị trí ngưng tụ  $x_{np}$  có :

$$t_s(p(x_n)) = t_0 + (t_1 - t_0) \exp\left(\frac{-x_n}{R_l G C_p}\right) - \frac{\partial t}{\partial p}(p_1 - p(x_n))$$

Khi đó có thể xác định  $x_n$  theo phương trình :

$$x_n = R_l G C_p \ln \frac{t_1 - t_0}{t_s(p(x_n)) - t_0 + \frac{\partial t}{\partial p}(p_1 - p(x_n))}, (m)$$

Chẳng hạn, bằng phương pháp lặp, dễ dàng nhận thấy  $x_{np} < x_n$ .

\* Nếu hơi bão hoà khô  $x = 1$  (hoặc hơi ẩm  $x < 1$ ) vào ống, thì vị trí ngưng tụ là đầu ống, tức  $x_n = 0$ .

#### 4.3.3. Tính chiều dài ngưng tụ $l_n$ .

Trên đoạn ống ngưng dài  $l_n = x_N - x_n$ , có thể coi nhiệt độ MC không đổi bằng  $t_s$  (khi  $\Delta p$  nhỏ) và phương trình CBN cho MC trong  $l_n$  có dạng :

$$rG = \frac{t_s - t_0}{R_l} l_n, \text{ với } r \text{ (J/kg) là nhiệt hoá hơi hay ngưng tụ, } G \text{ (kg/s) là lưu lượng}$$

MC trong ống. Do đó tìm được  $l_n = \frac{rGR_l}{t_s - t_0}, (m)$ .

$$\text{Nếu } \Delta p \text{ đáng kể, thì trong công thức trên coi } r = \bar{r} \left| \frac{p(x_N)}{p(x_n)} \right| \text{ và } t_s = \bar{t}_s \left| \frac{p(x_N)}{p(x_n)} \right|$$

Vị trí ngưng hoàn toàn (ngưng hết), lúc  $x = 0$  là :

$$x_N = x_n + l_n = R_l G \left( C_p \ln \frac{t_1 - t_0}{t_s - t_0} + \frac{r}{t_s - t_0} \right), (m)$$

#### 4.3.4. Quá trình hoá hơi của MC lạnh trong ống

Khi MC lạnh pha lỏng ( $t_1, p_1$ ) vào ống nhận nhiệt của môi trường nhiệt độ  $t_0 > t_s > t_1$  thì có thể coi quá trình chảy trong ống là đẳng áp  $p = \text{const} = p_1$  và quá trình hoá hơi xảy ra như sau :

- Chất lỏng được gia nhiệt từ ( $t_1 \rightarrow t_s$ ) trong đoạn ( $0 \rightarrow x_s$ ) với  $x_s$  tính theo:

$$x_s = R_l G C_{pl} \ln \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_s}, (m), \text{ MC bắt đầu sôi tại } x_s$$

- Quá trình sôi với  $p = \text{const}, t_s = \text{const}$  xảy ra trong đoạn ống  $l_s = x_S - x_s$  với :

$$l_s = \frac{rGR_l}{t_0 - t_s}, (m) \text{ và } x_S = x_s + l_s. \text{ Tại } x_S \text{ MC là hơi bão hoà khô } (x=1)$$

- Đoạn ống có  $x > x_S$  MC ở pha hơi được quá nhiệt, có nhiệt độ tiến dần đến  $t_0$  của môi trường.

#### 4.3.5. Tính lượng nước ngưng.

Quá trình ngưng tụ chỉ xảy ra tại các vị trí  $x$  với  $x_n \leq x \leq x_N$  theo phương trình CBN :  $rG_n = \frac{t_s - t_0}{R_1} x$ , [W]. Do đó khi HQN vào ống dài  $l$  bất kỳ thì lượng

$$\text{nước ngưng ra là : } G_n = \begin{cases} 0 & \text{ khi } l \leq x_n \\ \frac{t_s - t_0}{rR_1} (l - x_n), [\text{kg/s}] & \text{ khi } x_n < l < x_N \\ G & \text{ khi } l \geq x_N \end{cases}$$

\* Tương tự, MC lạnh pha lỏng vào ống dài  $l$  trong môi trường nhiệt độ  $t_0 > t_s$ , sẽ

$$\text{tạo ra lượng hơi bằng : } G_h = \begin{cases} 0 & \text{ khi } l \leq x_s \\ \frac{t_0 - t_s}{rR_1} (l - x_s), [\text{kg/s}] & \text{ khi } x_s < l < x_N \\ G & \text{ khi } l \geq x_N \end{cases}$$

#### 4.3.6. Ví dụ về tính toán sự chuyển pha trên ống

Tìm vị trí và lượng nước ngưng tụ, nhiệt độ MC ra khỏi ống dài  $l = 200\text{m}$ ,  $\frac{d_c}{d} = \frac{150}{100}$ ,  $\lambda_c = 0,1\text{W/mK}$ , dẫn hơi quá nhiệt có thông số vào ống là  $t_1 = 250^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 8$  bar (có  $t_s = 170^\circ\text{C}$ ),  $G = 0,2\text{kg/s}$ ,  $C_p = 1,9 \text{ kJ/kgK}$ ,  $r = 2048\text{kJ/kg}$  đặt trong không khí có gió  $\omega = 5 \text{ m/s}$ , nhiệt độ  $t_0 = 27^\circ\text{C}$ .

Giải: 1) Tính nhiệt trở

$$R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{d_c}{d} + \frac{1}{\pi d_c (11,6 + 7\sqrt{\omega})} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,1} \ln \frac{150}{100} + \frac{1}{\pi \cdot 0,15 (11,6 + 7\sqrt{5})} = 0,723 \text{ mK/W}$$

2) Vị trí ngưng tụ là:

$$x_n = R_1 G C_p \ln \frac{t_1 - t_0}{t_s - t_0} = 0,723 \cdot 0,2 \cdot 1900 \ln \frac{250 - 27}{170 - 27} = 122 \text{ m}$$

3) Độ dài ngưng toàn phần là

$$l_n = \frac{r G R_1}{t_s - t_0} = \frac{2048000 \cdot 0,2 \cdot 0,723}{170 - 27} = 2071 \text{ m} > l \text{ do đó lượng nước ngưng}$$

$$G_n < G, \text{ bằng: } G_n = \frac{t_0 - t_s}{r R_1} (l - x_n) = \frac{170 - 27}{2048000 \cdot 0,723} (200 - 122) = 0,00753 \text{ kg/s hay}$$

$$G_n = 27,1 \text{ kg/h.}$$



4) Vì ra khỏi ống là hơi bão hoà ở  $p = \text{const} = p_1$  (coi tổn thất áp suất  $\Delta p = 0$ ) nên nhiệt độ hơi ra là:  $t(l) = t_s = 170^\circ\text{C}$ .