



LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI: “hệ thống chưng cất metanol -
nước dùng tháp mâm xuyên lỗ”

LỜI MỞ ĐẦU

Công nghệ hóa học là một trong những ngành đóng góp rất lớn trong sự phát triển của nền công nghiệp nước ta. Trong ngành sản xuất hóa chất cũng như sử dụng sản phẩm hóa học, nhu cầu sử dụng nguyên liệu có độ tinh khiết cao phải phù hợp với qui trình sản xuất hoặc nhu cầu sử dụng.

Ngày nay, các phương pháp được sử dụng để nâng cao độ tinh khiết là: chưng cất, trích ly, cô đặc, hấp thu Tùy theo đặc tính sản phẩm mà ta lựa chọn phương pháp thích hợp. Hệ methanol – nước là 2 cấu tử tan lẫn hoàn toàn, ta dùng phương pháp chưng cất để nâng cao độ tinh khiết cho methanol.

Đồ án môn học Quá trình và Thiết bị là một môn học mang tính tổng hợp trong quá trình học tập của các kỹ sư hoá - thực phẩm tương lai. Môn học giúp sinh viên giải quyết nhiệm vụ tính toán cụ thể về: yêu cầu công nghệ, kết cấu, giá thành của một thiết bị trong sản xuất hoá chất - thực phẩm. Đây là bước đầu tiên để sinh viên vận dụng những kiến thức đã học của nhiều môn học vào giải quyết những vấn đề kỹ thuật thực tế một cách tổng hợp.

Em chân thành cảm ơn thầy Mai Thanh Phong và các quý thầy cô bộ môn Máy & Thiết Bị, các bạn sinh viên đã giúp em hoàn thành đồ án này. Tuy nhiên, trong quá trình hoàn thành đồ án không thể không có sai sót, em rất mong quý thầy cô góp ý, chỉ dẫn.

Tp HCM, ngày 18.1.2010

CHƯƠNG 1

Tổng quan

I. Giới thiệu về nguyên liệu

1. Methanol

Methanol còn gọi là rượu gỗ, có công thức hóa học CH_3OH . Là chất lỏng không màu, dễ bay hơi và rất độc. Các thông số của methanol:

- Phân tử lượng: 32,04 g/mol.
- Khối lượng riêng: 0,7918 g/cm³.
- Nhiệt độ nóng chảy: -97°C (176K).
- Nhiệt độ sôi: 64,5°C (337,8K).
- Độ nhớt: 0,59 Ns/m² ở 20°C.

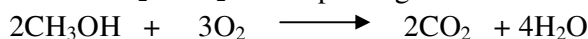
1.1. Ứng dụng

Methanol được dùng làm chất chống đông, làm dung môi, làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong, nhưng ứng dụng lớn nhất là làm nguyên liệu để sản xuất các hóa chất khác.

Khoảng 40% metanol được chuyển thành formyl dehyde, từ đó sản xuất ra chất dẻo, sơn...Các hóa chất khác được dẫn xuất từ metanol bao gồm dimeylete...

1.2. Sản xuất

Methanol được sinh ra từ sự trao đổi chất yếm khí của 1 vài loài vi khuẩn. Kết quả là 1 lượng nhỏ hơi methanol được tạo thành trong không khí. Và sau vài ngày không khí có chứa methanol sẽ bị oxy hoá bởi O_2 dưới tác dụng của ánh sáng chuyển thành CO_2 và H_2O theo phương trình:



Hiện nay methanol được sản xuất bằng cách tổng hợp trực tiếp từ H_2 và CO , gia nhiệt ở áp suất thấp có mặt chất xúc tác.

2. Nước

Trong điều kiện bình thường: nước là chất lỏng không màu, không mùi, không vị nhưng khối nước dày sẽ có màu xanh nhạt.

Khi hóa rắn nó có thể tồn tại ở dạng 5 dạng tinh thể khác nhau.

Tính chất vật lý:

- Khối lượng phân tử : 18 g / mol
- Khối lượng riêng d_4^{20} : 1 g / ml
- Nhiệt độ nóng chảy : 0°C
- Nhiệt độ sôi : 100°C

Nước là hợp chất chiếm phần lớn trên trái đất (3/4 diện tích trái đất là nước biển) và rất cần thiết cho sự sống.

Nước là dung môi phân cực mạnh, có khả năng hoà tan nhiều chất và là dung môi rất quan trọng trong kỹ thuật hóa học.

3. Hỗn hợp Methanol-nước

Ta có bảng cân bằng lỏng-hơi cho hỗn hợp methanol-nước ở 1 atm

Bảng 1

t ^o C	100	92,3	87,7	81,7	78	75,3	73,1	71,2	69,3	67,5	66	64,5
x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	26,8	41,8	57,9	66,5	72,9	77,9	82,5	87	91,5	95,8	100

Ở đây

x là thành phần lỏng

y là thành phần hơi

II. Lý thuyết về chưng cất:

1. Khái niệm:

Chưng cất là quá trình dùng để tách các cấu tử của một hỗn hợp lỏng (cũng như hỗn hợp khí lỏng) thành các cấu tử riêng biệt dựa vào độ bay hơi khác nhau của các cấu tử trong hỗn hợp (nghĩa là khi ở cùng một nhiệt độ, áp suất hơi bão hòa của các cấu tử khác nhau).

Thay vì đưa vào trong hỗn hợp một pha mới để tạo nên sự tiếp xúc giữa hai pha như trong quá trình hấp thu hoặc nhả khí, trong quá trình chưng cất pha mới được tạo nên bằng sự bốc hơi hoặc ngưng tụ.

Trong trường hợp đơn giản nhất, chưng cất và cô đặc không khác gì nhau, tuy nhiên giữa hai quá trình này có một ranh giới cơ bản là trong quá trình chưng cất dung môi và chất tan đều bay hơi (nghĩa là các cấu tử đều hiện diện trong cả hai pha nhưng với tỷ lệ khác nhau), còn trong quá trình cô đặc thì chỉ có dung môi bay hơi còn chất tan không bay hơi.

Khi chưng cất ta thu được nhiều cấu tử và thường thì hệ có bao nhiêu cấu tử sẽ thu được bấy nhiêu sản phẩm. Nếu xét hệ đơn giản chỉ có 2 cấu tử thì ta thu được 2 sản phẩm:

- + Sản phẩm đỉnh chủ yếu gồm cấu tử có độ bay hơi lớn và một phần rất ít các cấu tử có độ bay hơi bé.
- + Sản phẩm đáy chủ yếu gồm cấu tử có độ bay hơi bé và một phần rất ít cấu tử có độ bay hơi lớn.

Vậy đối với hệ methanol - nước thì:

- Sản phẩm đỉnh chủ yếu là methanol.
- Sản phẩm đáy chủ yếu là nước.

2. Các phương pháp chưng cất:

2.1. Phân loại theo áp suất làm việc

- Áp suất thấp
- Áp suất thường
- Áp suất cao

2.2. Phân loại theo nguyên lý làm việc

- Chứng cất đơn giản
- Chứng bằng hơi nước trực tiếp
- Chứng cất đa cấu tử

2.3. Phân loại theo phương pháp cấp nhiệt ở đáy tháp

- Cấp nhiệt trực tiếp
- Cấp nhiệt gián tiếp

Vậy đối với hệ methanol - nước, ta nên chọn phương pháp chứng cất liên tục cấp nhiệt gián tiếp.

3. Thiết bị chứng cất:

Trong sản xuất thường dùng nhiều loại thiết bị khác nhau để tiến hành chứng cất. Tuy nhiên yêu cầu cơ bản chung của các thiết bị vẫn giống nhau nghĩa là diện tích bề mặt tiếp xúc pha phải lớn, điều này phụ thuộc vào mức độ phân tán của một lưu chất này vào lưu chất kia. Nếu pha khí phân tán vào pha lỏng ta có các loại tháp mâm, nếu pha lỏng phân tán vào pha khí ta có tháp chêm, tháp phun,... Ở đây ta khảo sát 2 loại thường dùng là tháp mâm và tháp chêm.

- Tháp mâm: thân tháp hình trụ, thẳng đứng phía trong có gắn các mâm có cấu tạo khác nhau, trên đó pha lỏng và pha hơi được cho tiếp xúc với nhau. Tùy theo cấu tạo của đĩa, ta có:

- *Tháp mâm chóp*: trên mâm bố trí có chóp dạng tròn, xupap, chữ s...
- *Tháp mâm xuyên lỗ*: trên mâm có nhiều lỗ hay rãnh

- Tháp chêm (tháp đệm): tháp hình trụ, gồm nhiều bậc nối với nhau bằng mặt bích hay hàn. Vật chêm được cho vào tháp theo một trong hai phương pháp: xếp ngẫu nhiên hay xếp thứ tự.

So sánh ưu nhược điểm của các loại tháp:

	Tháp chêm	Tháp mâm xuyên lỗ	Tháp mâm chóp
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> - Cấu tạo khá đơn giản. - Trở lực thấp. - Làm việc được với chất lỏng bẩn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trở lực tương đối thấp. - Hiệu suất khá cao. 	<ul style="list-style-type: none"> - Khá ổn định. - Hiệu suất cao.
Nhược điểm	<ul style="list-style-type: none"> - Do có hiệu ứng thành nên hiệu suất truyền khối thấp. - Độ ổn định thấp, khó vận hành. - Khó tăng năng suất. - Thiết bị khá nặng nề. 	<ul style="list-style-type: none"> - Không làm việc được với chất lỏng bẩn. - Kết cấu khá phức tạp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Có trở lực lớn. - Tiêu tốn nhiều vật tư, kết cấu phức tạp.

Trong báo cáo này ta sử dụng tháp mâm xuyên lỗ để chứng cất hệ methanol - nước.

CHƯƠNG 2

Quy trình công nghệ

1. Thuyết minh quy trình công nghệ:

Hỗn hợp methanol - nước có nồng độ nhập liệu methanol 10% (theo phần hồi lượng), nhiệt độ khoảng 28°C tại bình chứa nguyên liệu (13) được bơm (1) bơm lên bồn cao vị (2). Từ đó được đưa đến thiết bị trao đổi nhiệt với sản phẩm đáy (12). Sau đó, hỗn hợp được gia nhiệt đến nhiệt độ sôi trong thiết bị đun sôi dòng nhập liệu (3), rồi được đưa vào tháp chưng cất (5) ở đĩa nhập liệu.

Trên đĩa nhập liệu, chất lỏng được trộn với phần lỏng từ đoạn luyện của tháp chảy xuống. Trong tháp, hơi đi từ dưới lên gặp chất lỏng từ trên xuống. Ở đây, có sự tiếp xúc và trao đổi giữa hai pha với nhau. Pha lỏng chuyển động trong phần chưng càng xuống dưới càng giảm nồng độ các cấu tử dễ bay hơi vì đã bị pha hơi tạo nên từ hơi nước được cấp trực tiếp vào đáy tháp lôi cuốn cấu tử dễ bay hơi. Nhiệt độ càng lên trên càng thấp, nên khi hơi đi qua các đĩa từ dưới lên thì cấu tử có nhiệt độ sôi cao là nước sẽ ngưng tụ lại, cuối cùng trên đỉnh tháp ta thu được hỗn hợp có cấu tử methanol chiếm nhiều nhất (có nồng độ 95% phần khối lượng). Hơi này đi vào thiết bị ngưng tụ (7) và được ngưng tụ hoàn toàn. Một phần của chất lỏng ngưng tụ được hoàn lưu về tháp ở đĩa trên cùng. Phần còn lại được làm nguội đến 40°C , rồi đưa về bình chứa sản phẩm đỉnh.

Một phần cấu tử có nhiệt độ sôi thấp được bốc hơi, còn lại cấu tử có nhiệt độ sôi cao trong chất lỏng ngày càng tăng. Cuối cùng, ở đáy tháp ta thu được hỗn hợp lỏng hầu hết là các cấu tử khó bay hơi (nước). Hỗn hợp lỏng ở đáy có nồng độ methanol là 1,5% phần khối lượng, còn lại là nước. Dung dịch lỏng ở đáy đi ra khỏi tháp đi vào thiết bị trao đổi nhiệt với dòng nhập liệu, rồi được đưa qua bồn chứa sản phẩm đáy (11).

Hệ thống làm việc liên tục cho ra sản phẩm đỉnh là methanol. Sản phẩm đáy là nước sau khi trao đổi nhiệt với dòng nhập liệu được thải bỏ ở nhiệt độ 60°C .

Chú thích các ký hiệu trong qui trình:

1. Bồn chứa nguyên liệu
2. Bơm
3. Bồn cao vị
4. Thiết bị trao đổi nhiệt.
5. Thiết bị đun sôi dòng nhập liệu
6. Lưu lượng kế.

7. Tháp chưng
8. Thiết bị đun sản phẩm đáy
9. Bồn chứa sản phẩm đỉnh.
10. Thiết bị ngưng tụ sản phẩm đỉnh
11. Thiết bị làm nguội sản phẩm đỉnh
12. Bẫy hơi
13. Bồn chứa sản phẩm đáy

CHƯƠNG 3

TÍNH TOÁN SƠ BỘ

I. Các thông số ban đầu:

- Chọn loại tháp là tháp mâm xuyên lỗ. Thiết bị hoạt động liên tục.
- Khi chưng luyện dung dịch metanol thì cấu tử dễ bay hơi là metanol.
- Hỗn hợp:
 - + Methanol: CH_3OH , $M_R = 32$ (g/mol)
 - + Nước: H_2O , $M_N = 18$ (g/mol)
- Năng suất nhập liệu: $G_F = 1000$ (l/h)
- Nồng độ nhập liệu: $\bar{x}_F = 10\%$ (kg Methanol/ kg hỗn hợp)
- Nồng độ sản phẩm đỉnh: $\bar{x}_P = 95\%$ (kg Methanol/ kg hỗn hợp)
- Nồng độ sản phẩm đáy: $\bar{x}_W = 1,5\%$ (kg Methanol/ kg hỗn hợp)
- Chọn:
 - Nhiệt độ nhập liệu ban đầu: $t_{BD} = 28^\circ\text{C}$
 - Nhiệt độ sản phẩm đỉnh sau khi làm nguội: $t_{PR} = 60^\circ\text{C}$
 - Nhiệt độ dòng nước lạnh đi vào: $t_V = 28^\circ\text{C}$
 - Nhiệt độ dòng nước lạnh đi ra: $t_R = 40^\circ\text{C}$
 - Trạng thái nhập liệu vào tháp chưng cất là trạng thái lỏng sôi.
- Các ký hiệu:
 - G_F, F : suất lượng nhập liệu tính theo kg/h, kmol/h.
 - G_P, P : suất lượng sản phẩm đỉnh tính theo kg/h, kmol/h.
 - G_W, W : suất lượng sản phẩm đáy tính theo kg/h, kmol/h.
 - L : suất lượng dòng hoàn lưu, kmol/h.
 - x_i, \bar{x}_i : nồng độ phần mol, phần khối lượng của cấu tử i.

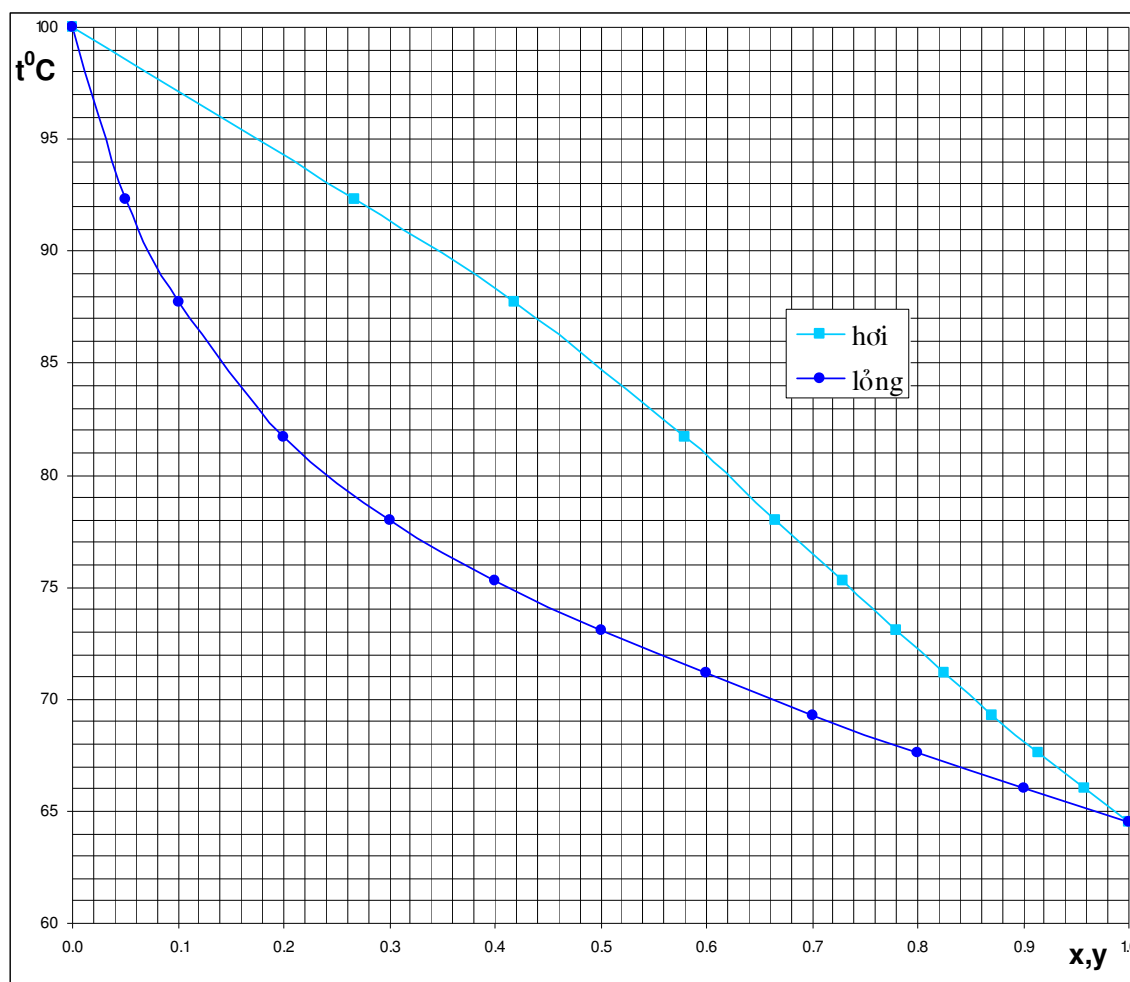
II. Cân bằng vật chất:**1. Nồng độ phần mol của Methanol trong tháp**

$$x_F = \frac{\bar{x}_F / M_R}{\bar{x}_F / M_R + (1 - \bar{x}_F) / M_N} = \frac{0.1/32}{0.1/32 + (1 - 0.1)/18} = 0.0588$$

$$x_P = \frac{\bar{x}_P / M_R}{\bar{x}_P / M_R + (1 - \bar{x}_P) / M_N} = \frac{0.95/32}{0.95/32 + (1 - 0.95)/18} = 0.9144$$

$$x_W = \frac{\bar{x}_W / M_R}{\bar{x}_W / M_R + (1 - \bar{x}_W) / M_N} = \frac{0.015/32}{0.015/32 + (1 - 0.015)/18} = 0.0085$$

Từ số liệu của bảng 1 ta xây dựng đồ thị t-x,y cho hệ Methnol- nước



Đồ thị 1 đồ thị t-x,y cho hệ Methnol- nước

Do ta chọn trạng thái nhập liệu vào tháp chưng cất là trạng thái lỏng sôi nên từ đồ thị 1 trên, tại $x_F = 0.0588$ ta nội suy ra nhiệt độ nhập liệu vào tháp chưng cất là

$$T_F = 91,5^{\circ}\text{C}$$

Tra bảng 1.249, trang 310, {1} ta được $\rho_N = 964,25 \text{ kg/m}^3$

Tra bảng 1.2, trang 9, {1} ta được $\rho_R = 722.19 \text{ kg/m}^3$

Suy ra khối lượng riêng của hỗn hợp khi nhập liệu vào tháp

$$\frac{1}{\rho_F} = \frac{\bar{x}_F}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_F}{\rho_N} = \frac{0.1}{722,19} + \frac{1 - 0.1}{964,25} = 1,072 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow \rho_F = 933.0 \text{ kg/m}^3$$

Suy ra $G_F = 933,0 \text{ kg/h}$

Ta có $M_F = \bar{x}_F \cdot M_R + (1 - \bar{x}_F) \cdot M_N = 0,1.32 + (1 - 0,1) \cdot 18 = 19,4 \text{ kg/kmol}$

$$\text{Nên } F = \frac{G_F}{M_F} = \frac{933,0}{19,4} = 48,093 \text{ kmol/h}$$

2. Suất lượng mol của các dòng

- Phương trình cân bằng vật chất cho toàn tháp

$$F = P + W$$

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P + W \cdot x_W$$

- Thế các giá trị vào ta được hệ phương trình sau

$$\begin{cases} P + W = 48,093 \\ 0,9144P + 0,0085W = 48,093 \cdot 0,0588 \end{cases}$$

$$\Rightarrow P = 2,67 \text{ kmol/h}$$

$$W = 45,42 \text{ kmol/h}$$

- Lại có

$$M_P = \bar{x}_P \cdot M_R + (1 - \bar{x}_P) \cdot M_N = 0,95.32 + (1 - 0,95).18 = 31,30 \text{ kg/kmol}$$

$$M_W = \bar{x}_W \cdot M_R + (1 - \bar{x}_W) \cdot M_N = 0,015.32 + (1 - 0,015).18 = 18,21 \text{ kg/kmol}$$

- Suy ra

$$G_P = P \cdot M_P = 2,67 \cdot 31,30 = 83,57 \text{ kg/h}$$

$$G_W = W \cdot M_W = 45,42 \cdot 18,21 = 827,1 \text{ kg/h}$$

3. Các phương trình làm việc

- Từ bảng số liệu 1 ta xây dựng đồ thị cân bằng pha của hệ Methanol-nước ở áp suất 1 atm

- Với $x_F = 0,0588$ ta nội suy từ đồ thị 2 được $y_F^* = 0,295$

+ Tỷ số hoàn lưu tối thiểu

$$R_{\min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,9144 - 0,295}{0,295 - 0,0588} = 2,62$$

+ Tỷ số hoàn lưu làm việc:

$$R = 1,3R_{\min} + 0,3 = 1,3 \cdot 2,62 + 0,3 = 3,71$$

+ Suất lượng mol tương đối của dòng nhập liệu

$$f = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,9144 - 0,0085}{0,0588 - 0,0085} = 18,01$$

Phương trình đường làm việc của phần chưng:

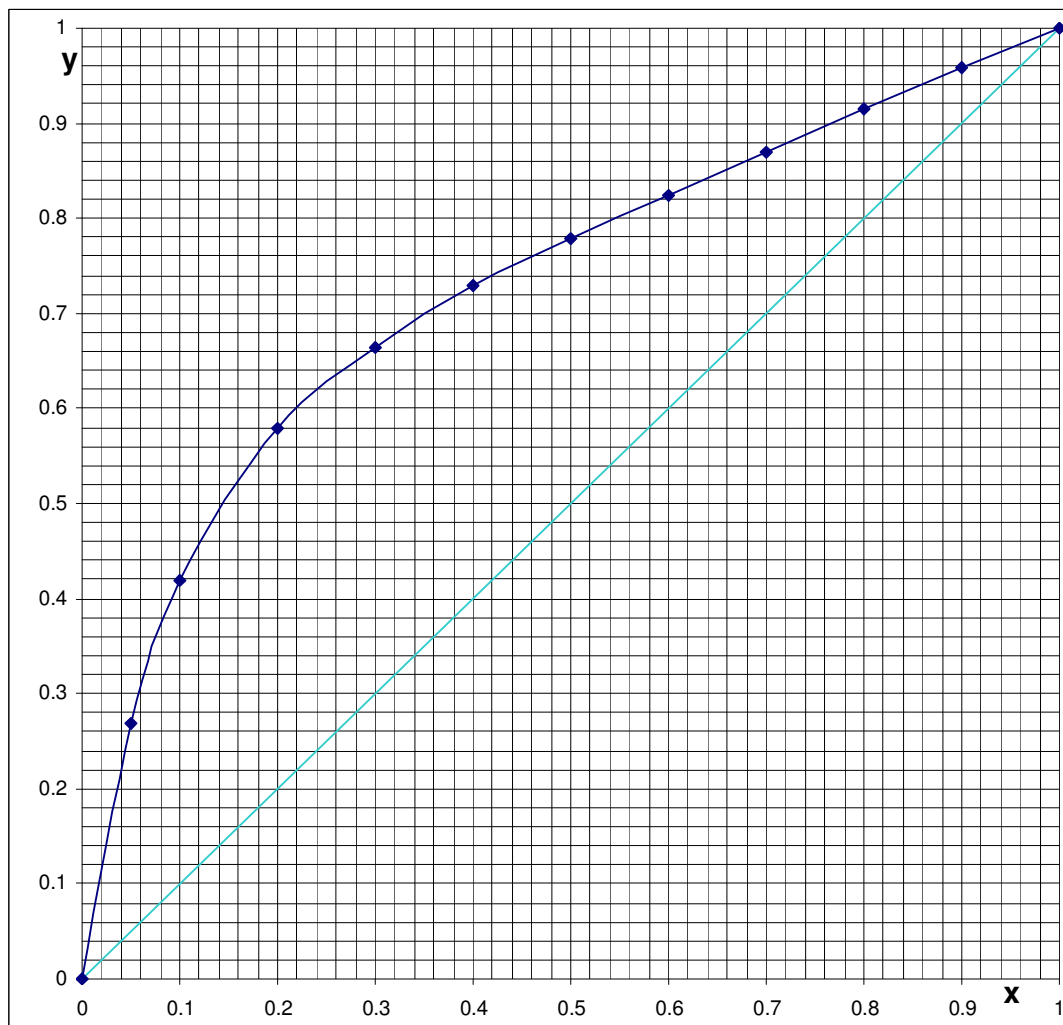
$$y = \frac{R+f}{R+1} \cdot x + \frac{1-f}{R+1} \cdot x_W = \frac{3,71+18,01}{3,71+1} \cdot x + \frac{1-18,01}{3,71+1} \cdot 0,0085 = 4,61 \cdot x - 0,031$$

Hay $y = 4,61 \cdot x - 0,031$

Phương trình đường làm việc của phần luyện:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{1}{R+1} \cdot x_p = \frac{3,71}{3,71+1} \cdot x + \frac{1}{3,71+1} \cdot 0,9144 = 0,788 \cdot x + 0,194$$

Hay $y = 0,788 \cdot x + 0,194$



Đồ thị 2: đồ thị cân bằng pha của hệ Methanol-nước ở áp suất 1atm

CHƯƠNG 4:

Thiết kế chế tạo tháp chưng cất

I. Đường kính tháp:

1. Phần luyện:

a. Khối lượng riêng trung bình của pha lỏng trong phần luyện:

- Nồng độ phần mol trung bình của pha lỏng trong phần luyện:

$$x_L = \frac{x_P + x_F}{2} = \frac{0,9144 + 0,0588}{2} = 0,4866 \text{ mol}$$

- Nội suy từ đồ thị 1 ta được nhiệt độ trung bình của pha lỏng trong phần luyện

$$T_{LL} = 73,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Nồng độ phần khối lượng trung bình của pha lỏng trong phần luyện:

$$\bar{x}_L = \frac{\bar{x}_P + \bar{x}_F}{2} = \frac{0,95 + 0,1}{2} = 0,525$$

- Tra bảng 1.249, trang 311, [1]

$$\text{Khối lượng riêng của nước ở } 73,4^{\circ}\text{C: } \rho_N = 975,76 \text{ kg/m}^3$$

- Tra bảng 1.2, trang 9, [1]

$$\text{Khối lượng riêng của metanol ở } 73,4^{\circ}\text{C: } \rho_R = 739,77 \text{ kg/m}^3$$

- Áp dụng trong công thức (1.2), trang 5, [1]

$$\frac{1}{\rho_{LL}} = \frac{\bar{x}_L}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_L}{\rho_N} = \frac{0,525}{739,77} + \frac{1 - 0,525}{975,76} = 1,196 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow \rho_{LL} = 835,78 \text{ kg/m}^3$$

b. Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần luyện:

- Nồng độ trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$y_L = 0,788x_L + 0,194 = 0,788 \cdot 0,4866 + 0,194 = 0,5775$$

\Rightarrow Nhiệt độ trung bình của pha hơi trong phần luyện: $T_{HL} = 81,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- Khối lượng mol trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$M_{HL} = y_L \cdot M_R + (1 - y_L) \cdot M_N = 0,5775 \cdot 32 + (1 - 0,5775) \cdot 18 = 26,085 \text{ kg/kmol}$$

- Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$\rho_{HL} = \frac{PM_{HL}}{RT_{HL}} = \frac{1,26,085}{\frac{22,4}{273} \cdot (81,6 + 273)} = 0,8965 \text{ kg/m}^3$$

- Chọn khoảng cách mâm h = 250 mm

- Tra hình 2.2, trang 42, [6]: C = 0,028

- Vận tốc pha hơi đi trong phần luyện

$$\omega_L = C \sqrt{\frac{\rho_{LL}}{\rho_{HL}}} = 0,028 \sqrt{\frac{835,78}{0,8965}} = 0,855 \text{ m/s}$$

Lưu lượng pha hơi đi trong phần luyện của tháp:

$$Q_V = \frac{G_P \cdot (1 + R) \cdot 22,4 \cdot T_{HL}}{M_P \cdot T_o \cdot 3600} = \frac{83,57 \cdot (1 + 3,71) \cdot 22,4 \cdot (81,6 + 273)}{31,3 \cdot 273 \cdot 3600} = 0,102 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Đường kính đoạn luyện

$$D_L = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_V}{\pi \cdot \omega_L}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,102}{3,14 \cdot 0,855}} = 0,390 \text{ m}$$

2. Phần chưng:

a. Khối lượng riêng trung bình của pha lỏng trong phần chưng:

- Nồng độ phần mol trung bình của pha lỏng trong phần chưng:

$$x_C = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0,0588 + 0,0085}{2} = 0,034 \text{ (mol metanol/mol hỗn hợp)}$$

- Nhiệt độ trung bình của pha lỏng trong phần chưng: $T_{LC} = 94,6^\circ \text{C}$

- Nồng độ phần khối lượng trung bình của pha lỏng trong luyện:

$$\bar{x}_C = \frac{\bar{x}_F + \bar{x}_W}{2} = \frac{0,1 + 0,015}{2} = 0,0575 \text{ kg metanol/ kg hỗn hợp}$$

- Tra bảng 1.249, trang 311, [1]

Khối lượng riêng của nước ở $94,6^\circ \text{C}$: $\rho_N = 962,78 \text{ kg/m}^3$

- Tra bảng 1.2, trang 9, [1]

Khối lượng riêng của metanol ở $94,6^\circ \text{C}$: $\rho_R = 719,18 \text{ kg/m}^3$

- Áp dụng trong công thức (1.2), trang 5, [1]

$$\frac{1}{\rho_{LC}} = \frac{\bar{x}_C}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_C}{\rho_N} = \frac{0,0575}{719,18} + \frac{1 - 0,0575}{962,78} = 1,059 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{LC} = 941,39 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

b. Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần chưng

- Nồng độ trung bình của pha hơi trong phần chưng

$$y_C = 4,61x_C - 0,031 = 4,61 \cdot 0,034 - 0,031 = 0,126$$

⇒ Nhiệt độ trung bình của pha hơi trong phần chưng:

$$T_{HC} = 96,4^\circ \text{C}$$

- Khối lượng mol trung bình của pha hơi trong phần chưng

$$M_{HC} = y_C \cdot M_R + (1 - y_C) \cdot M_N = 0,126 \cdot 32 + (1 - 0,126) \cdot 18 = 19,76$$

kg/kmol

- Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần chưng:

$$\rho_{HC} = \frac{PM_{HC}}{RT_{HC}} = \frac{1 \cdot 19,76}{\frac{22,4}{273} \cdot (96,4 + 273)} = 0,566 \text{ kg / m}^3$$

- Chọn khoảng cách mâm $h = 250 \text{ mm}$

- Vận tốc pha hơi đi trong phần chưng:

- Tra hình 2.2, trang 42, [6]: $C = 0,028$

$$\omega_c = C \sqrt{\frac{\rho_{LC}}{\rho_{HC}}} = 0,028 \sqrt{\frac{941,39}{0,566}} = 1,142 \text{ m/s}$$

- Lưu lượng pha hơi đi trong tháp:

$$Q_v = \frac{G_p \cdot (1 + R) \cdot 22,4 \cdot T_{HC}}{M_p \cdot T_o \cdot 3600} = \frac{83,57 \cdot (1 + 3,71) \cdot 22,4 \cdot (96,4 + 273)}{31,3 \cdot 273 \cdot 3600} = 0,106 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Đường kính đoạn chưng

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot \omega_c}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,106}{3,14 \cdot 1,142}} = 0,344 \text{ m}$$

Tra bảng IX.4a, trang 169, [2], ta chọn theo chuẩn $D = 400 \text{ mm}$

Kết luận: đường kính tháp là $D = 0,4 \text{ m}$

Vận tốc pha hơi trong tháp theo thực tế:

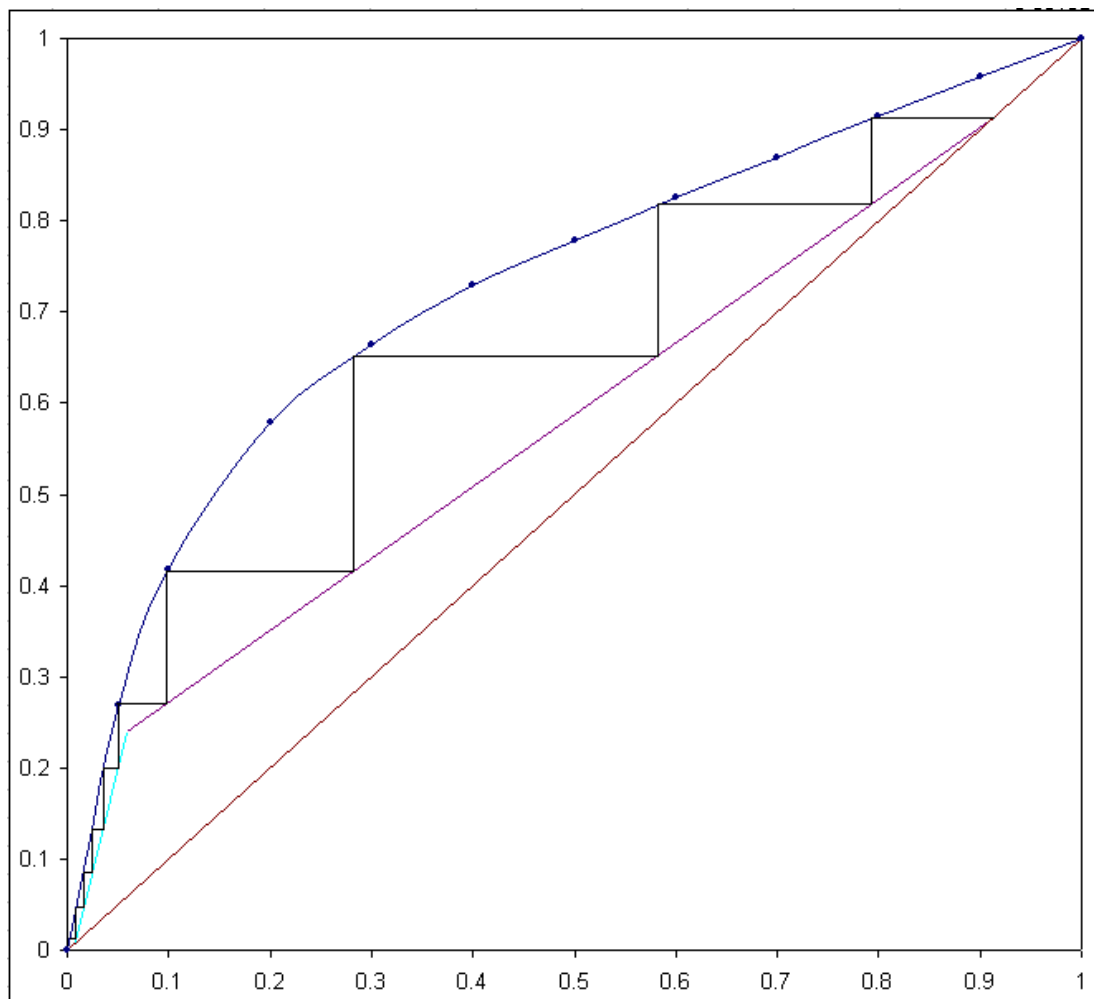
$$\omega_c = \frac{4 \cdot Q_v}{3,14 \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 0,106}{3,14 \cdot 0,4^2} = 0,844 \text{ m/s}$$

$$\omega_L = \frac{4 \cdot Q_v}{3,14 \cdot D_L^2} = \frac{4 \cdot 0,102}{3,14 \cdot 0,4^2} = 0,812 \text{ m/s}$$

II. Chiều cao tháp:

1. Số mâm lý thuyết

Ta dựng đồ thị 2 đường làm việc vào trong đồ thị 2 (đồ thị cân bằng pha).



Đồ thị 3: Đồ thị xác định số bậc lý thuyết của tháp

Từ đồ thị 3 ở trên ta suy số mâm lý thuyết của tháp là $N_{lt} = 10$ mâm. Nhưng do ta dùng thiết bị đun nóng gián tiếp nên ta xem thiết bị này như là 1 mâm lý thuyết

Vậy số mâm trong tháp là 9 mâm, trong đó

- + Số mâm phần chưng là 5
- + Số mâm phần luyện là 4

2. Xác định số mâm thực tế của tháp

a. Hiệu suất trung bình của tháp

+ Vị trí đỉnh

Nồng độ phần mol: $x_P = 0,9144$

$$\Rightarrow t_{sđi} = 65,8^\circ\text{C}$$

$$y^* = 0,972$$

Độ bay hơi tương đối:

$$\alpha = \frac{y^* \cdot (1-x)}{(1-y^*) \cdot x} = \frac{0,972 \cdot (1-0,9144)}{(1-0,972) \cdot 0,9144} = 3,250$$

Tra bảng 1.104, trang 96, [1] \Rightarrow Độ nhớt của nước $\mu_N = 0,432$ cP

Dùng toán đồ 1.18, trang 90, [1] \Rightarrow Độ nhớt của metanol $\mu_R = 0,325$ cP

Công thức (I.12), trang 84, [1]

Độ nhớt của hỗn hợp lỏng: $\lg\mu_{hh} = x_1\lg\mu_1 + x_2\lg\mu_2$

Nên: $\lg\mu_{hh} = 0,9144.\lg 0,325 + (1 - 0,9144).\lg 0,432 = -0,478$

$$\Rightarrow \mu_{hh} = 0,333 \text{ cP}$$

$$\Rightarrow \alpha_L \mu_L = 3,250.0,333 = 1,082$$

Tra hình IX, trang 171, [2] $\Rightarrow E = 46\%$

+ Vị trí nhập liệu

Nồng độ phần mol: $x_F = 0,0588$

$$\Rightarrow t_{s\dot{o}i} = 91,5^\circ\text{C}$$

$$y^* = 0,305$$

Độ bay hơi tương đối:

$$\alpha = \frac{y^*.(1-x)}{(1-y^*).x} = \frac{0,305.(1-0,0588)}{(1-0,305).0,0588} = 7,025$$

Tra bảng 1.104, trang 96, [1] \Rightarrow Độ nhớt của nước $\mu_N = 0,312$ cP

Dùng toán đồ 1.18, trang 90, [1] \Rightarrow Độ nhớt của metanol $\mu_R = 0,245$ cP

Công thức (I.12), trang 84, [1]

Độ nhớt của hỗn hợp lỏng: $\lg\mu_{hh} = x_1\lg\mu_1 + x_2\lg\mu_2$

Nên: $\lg\mu_{hh} = 0,0588.\lg 0,245 + (1 - 0,0588).\lg 0,312 = -0,512$

$$\Rightarrow \mu_{hh} = 0,308 \text{ cP}$$

$$\Rightarrow \alpha_L \mu_L = 7,025.0,308 = 2,161$$

Tra hình IX, trang 171, [2] $\Rightarrow E = 41\%$

+ Vị trí đáy:

Nồng độ phần mol: $x_P = 0,0085$

$$\Rightarrow t_{s\dot{o}i} = 98,5^\circ\text{C}$$

$$y^* = 0,052$$

Độ bay hơi tương đối:

$$\alpha = \frac{y^*.(1-x)}{(1-y^*).x} = \frac{0,052.(1-0,0085)}{(1-0,052).0,0085} = 6,40$$

Tra bảng 1.104, trang 96, [1] \Rightarrow Độ nhớt của nước $\mu_N = 0,289$ cP

Dùng toán đồ 1.18, trang 90, [1] \Rightarrow Độ nhớt của metanol $\mu_R = 0,215$ cP

Công thức (I.12), trang 84, [1]

Độ nhớt của hỗn hợp lỏng: $\lg\mu_{hh} = x_1\lg\mu_1 + x_2\lg\mu_2$

Nên: $\lg\mu_{hh} = 0,0085.\lg 0,215 + (1 - 0,0085).\lg 0,289 = -0,541$

$$\Rightarrow \mu_{hh} = 0,288 \text{ cP}$$

$$\Rightarrow \alpha_L \mu_L = 6,40.0,288 = 1,842$$

Tra hình IX, trang 171, [2] $\Rightarrow E = 43\%$

+ Hiệu suất trung bình của tháp

$$E_{tb} = \frac{46 + 41 + 43}{3} = 43,3\%$$

b. Chiều cao tháp

- Số mâm thực tế của tháp

$$N_{tt} = \frac{N_{lt}}{E_{tb}} = \frac{9}{0,433} = 21 \text{ mâm}$$

Trong đó

$$N_{nc} = \frac{N_c}{E_{tb}} = \frac{5}{0,433} = 12 \text{ mâm}$$

$$N_{nL} = \frac{N_L}{E_{tb}} = \frac{4}{0,433} = 9 \text{ mâm}$$

- Chiều cao toàn tháp: Sử dụng công thức IX.54, trang 169, [2]

$$H_{tháp} = N_{tt} \cdot (h_{mâm} + \delta) = 21 \cdot (0,25 + 0,002) + 0,8 = 6,092 \text{ m}$$

- Chọn đáy (nắp) tiêu chuẩn có $\frac{h_t}{D_t} = 0,25$ suy ra $h_t = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,4 = 0,10 \text{ m}$

- Chọn chiều cao gờ: $h_g = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$

- Chiều cao đáy (nắp): $H_{dn} = h_t + h_g = 0,1 + 0,025 = 0,125 \text{ m}$

Kết luận: Chiều cao toàn tháp: $H = 6,34 \text{ m}$

III. Trở lực tháp:

Cấu tạo mâm lỗ:

+ Chọn tháp mâm xuyên lỗ có ống chảy chuyển với:

- Tiết diện tự do bằng 8% diện tích mâm.
- Đường kính lỗ $d_l = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$
- Chiều cao gờ chảy tràn: $h_{g\ddot{o}} = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$
- Diện tích của 2 bán nguyệt bằng 20% diện tích mâm.
- Lỗ bố trí theo hình lục giác đều.
- Khoảng cách giữa 2 tâm lỗ bằng 15 mm.
- Bề dày mâm bằng 2 mm
- Mâm được làm bằng thép không gỉ X18H10T.

+ Số lỗ trên 1 mâm:

$$N = \frac{8\% S_m}{S_l} = 0,08 \left(\frac{D_t}{d_l} \right)^2 = 0,08 \cdot \left(\frac{0,4}{0,003} \right)^2 = 1422 \text{ lỗ}$$

Gọi a là số hình lục giác.

Áp dụng công thức (V.139), trang 48, [2]: $N = 3a(a-1) + 1$

Giải phương trình bậc 2 $\Rightarrow a = 22,3 \approx 23 \Rightarrow N = 1519 \text{ lỗ}$

Số lỗ trên đường chéo: $b = 2a - 1 = 43 \text{ lỗ}$

2. Trở lực của đĩa khô:

Áp dụng công thức (IX.140), trang 194, [2]:

$$\Delta P_k = \xi \frac{\omega'^2 \cdot \rho_H}{2}$$

Đối với đĩa có tiết diện tự do bằng 10% diện tích mâm thì $\xi = 1,82$

2.1. Phần luyện

Vận tốc hơi qua lỗ: $\omega'_L = \frac{\omega_L}{8\%} = \frac{0,812}{0,08} = 10,15 \text{ m/s}$

Nên: $\Delta P_{kL} = 1,82 \cdot \frac{10,15^2 \cdot 0,8965}{2} = 84,05 \text{ N/m}^2$

2.2. Phần chứng

Vận tốc hơi qua lỗ: $\omega'_C = \frac{\omega_C}{8\%} = \frac{0,844}{0,08} = 10,55 \text{ m/s}$

Nên: $\Delta P_{kC} = 1,82 \cdot \frac{10,55^2 \cdot 0,566}{2} = 57,33 \text{ N/m}^2$

3. Trở lực do sức căng bề mặt

Vì đĩa có đường kính lỗ $> 1\text{mm}$

\Rightarrow Áp dụng công thức (IX.142), trang 194, [2]:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma}{1,3d_{lỗ} + 0,08d_{lỗ}^2}$$

3.1. Phần luyện

Tại nhiệt độ trung bình của pha lỏng trong phần luyện $T_{LL} = 73,4^\circ\text{C}$ thì:

- Tra bảng 1.249, trang 310, [1] \Rightarrow Sức căng bề mặt của nước $\sigma_{NL} = 0,6334 \text{ N/m}$
- Tra bảng 1.242, trang 300, [1] \Rightarrow Sức căng bề mặt của rượu $\sigma_{RL} = 0,0184 \text{ N/m}$

Áp dụng công thức (I.76), trang 299, [1]:

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2} \Rightarrow \sigma = \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

$$\sigma_{LL} = \frac{0,6334 \cdot 0,0184}{0,6334 + 0,0184} = 0,0179 \text{ N/m}$$

$$\Delta P_{\sigma L} = \frac{4 \times 0,0179}{1,3 \times 0,003 + 0,08 \times 0,003^2} = 18,36 \text{ N/m}^2$$

3.2. Phần chứng

Tính toán tương tự như phần luyện

Tại nhiệt độ trung bình của pha lỏng trong phần luyện $T_{LL} = 94,6^\circ\text{C}$ thì:

- Tra bảng 1.249, trang 310, [1] \Rightarrow Sức căng bề mặt của nước $\sigma_{NL} = 0,5964 \text{ N/m}$
- Tra bảng 1.242, trang 300, [1] \Rightarrow Sức căng bề mặt của rượu $\sigma_{RL} = 0,0160 \text{ N/m}$

Áp dụng công thức (I.76), trang 299, [1]:

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2} \Rightarrow \sigma = \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

$$\sigma_{LL} = \frac{0,5964 \cdot 0,0160}{0,5964 + 0,0160} = 0,0126 \text{ N/m}$$

$$\Delta P_{\sigma L} = \frac{4 \times 0,0126}{1,3 \times 0,003 + 0,08 \times 0,003^2} = 12,92 \text{ N/m}^2$$

4. Trở lực thủy tĩnh do chất lỏng trên đĩa tạo ra:

Áp dụng công thức trang 68, [3]

$$\Delta P_b = 1,3 h_b K \rho_L g$$

Với: $h_b = h_{gờ} + \Delta h_1$

$$\Delta h_1 = \left(\frac{Q_L}{1,85 L_{gờ} K} \right)^{2/3}$$

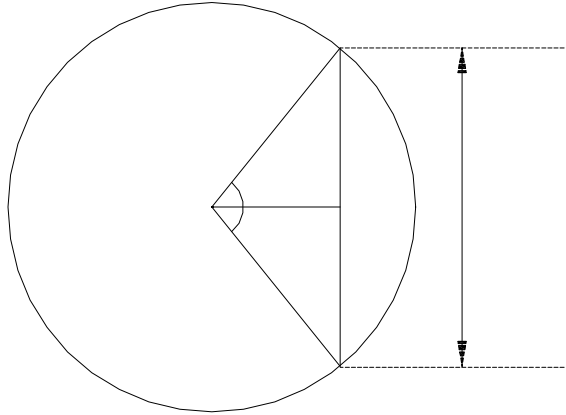
Trong đó:

$L_{gờ}$: chiều dài của gờ chảy tràn, m

$K = \rho_b / \rho_L$: tỷ số giữa khối lượng riêng chất lỏng bọt và khối lượng riêng của chất lỏng, lấy gần bằng 0,5.

$$Q_L = \frac{n_L \cdot M_L}{\rho_L} : \text{suất lượng thể tích của pha lỏng, m}^3/\text{s}.$$

Tính chiều dài gờ chảy tràn:



Ta có: $S_{\text{quạt}} - S_{\Delta} = S_{\text{bán nguyệt}}$

$$\Leftrightarrow \alpha \frac{R^2}{2} - 2 \cdot \frac{1}{2} R \sin \frac{\alpha}{2} R \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{20\%}{2} \pi R^2$$

$$\Leftrightarrow \alpha - \sin \alpha = 0,2\pi$$

Dùng phép lặp $\Rightarrow \alpha = 1,627 \text{ rad} = 93,32^\circ$

$$\text{Nên } L_{gờ} = D_r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0,4 \cdot \sin\left(\frac{93,32}{2}\right) = 0,290 \text{ m}$$

4.1. Phần luyện:

Khối lượng mol trung bình của pha lỏng trong phần luyện:

$$M_{LL} = 0,4866 \cdot 32 + (1 - 0,4866) \cdot 18 = 24,81 \text{ kg/kmol}$$

Suất lượng thể tích của pha lỏng trong phần luyện:

$$Q_{LL} = \frac{G_p \cdot R \cdot M_{LL}}{M_p \cdot \rho_{LL}} = \frac{83,57 \cdot 3,71 \cdot 24,81}{31,30 \cdot 835,78 \cdot 3600} = 8,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h_{IL} = \left(\frac{8,17 \cdot 10^{-5}}{1,85 \cdot 0,290 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,0045 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cho ta: } \Delta P_{bL} &= 1,3 \cdot (h_{g\ddot{o}} + \Delta h_{IL}) \cdot K \rho_{LL} g \\ &= 1,3 \cdot (0,03 + 0,0045) \cdot 0,5 \cdot 835,78 \cdot 9,81 = 183,86 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

4.2. Phần chưng

Tính toán tương tự như phần luyện

Khối lượng mol trung bình của pha lỏng trong phần luyện:

$$M_{LC} = 0,034 \cdot 32 + (1 - 0,034) \cdot 18 = 16,54 \text{ kg/kmol}$$

Suất lượng thể tích của pha lỏng trong phần luyện:

$$Q_{LC} = \frac{G_p \cdot R \cdot M_{LC}}{M_p \cdot \rho_{LC}} = \frac{83,57 \cdot 3,71 \cdot 16,54}{31,30 \cdot 941,39 \cdot 3600} = 4,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h_{IC} = \left(\frac{4,83 \cdot 10^{-5}}{1,85 \cdot 0,290 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,0032 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cho ta: } \Delta P_{bC} &= 1,3 \cdot (h_{g\ddot{o}} + \Delta h_{IC}) \cdot K \rho_{LC} g \\ &= 1,3 \cdot (0,03 + 0,0032) \cdot 0,5 \cdot 941,39 \cdot 9,81 = 199,29 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

5. Tổng trở lực thủy lực của tháp

Tổng trở lực của 1 mâm trong phần luyện của tháp là:

$$\Delta P_L = \Delta P_{kL} + \Delta P_{\sigma L} + \Delta P_{bL} = 84,05 + 18,36 + 183,86 = 286,27 \text{ N/m}^2$$

Tổng trở lực của 1 mâm trong phần chưng của tháp là:

$$\Delta P_C = \Delta P_{kC} + \Delta P_{\sigma C} + \Delta P_{bC} = 57,33 + 12,92 + 199,29 = 269,54 \text{ N/m}^2$$

Kiểm tra hoạt động của mâm:

- Kiểm tra lại khoảng cách mâm $h = 0,25\text{m}$ đảm bảo cho điều kiện hoạt

$$\text{động bình thường của tháp: } h > 1,8 \frac{\Delta P}{\rho_L g} \quad (\text{trang 70, [3]})$$

Với các mâm trong phần luyện trở lực thủy lực qua 1 mâm lớn hơn trở lực thủy lực của mâm trong phần chưng, ta có:

$$1,8 \frac{\Delta P_L}{\rho_{LL} g} = 1,8 \frac{286,27}{835,78 \cdot 9,81} = 0,063 \text{ m}$$

⇒ Điều kiện trên được thỏa.

- Kiểm tra tính đồng nhất của hoạt động của mâm.

Từ công thức trang 70, [3] Ta có vận tốc tối thiểu qua lỗ của pha hơi v_{\min} đủ để cho các lỗ trên mâm đều hoạt động:

$$v_{\min} = 0,67 \sqrt{\frac{g \rho_{LL} h_{bL}}{\xi \rho_{HL}}} = 0,67 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 835,78 \cdot (0,03 + 0,0045)}{1,82 \cdot 0,8965}} = 8,822 \text{ m/s} < 10,15 \text{ m/s}$$

⇒ Các lỗ trên mâm đều hoạt động.

Kết luận:

Tổng trở lực thủy lực của tháp:

$$\Delta P = N_{tL} \cdot \Delta P_L + N_{tC} \Delta P_C = 9 \cdot 286,27 + 14 \cdot 269,54 = 6350,0 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

6. Kiểm tra ngập lụt khi tháp hoạt động:

Khoảng cách giữa 2 mâm: $\Delta h = 250 \text{ mm}$

Bỏ qua sự tạo bọt trong ống chảy chuyển, chiều cao mực chất lỏng trong ống chảy chuyển của mâm xuyên lỗ được xác định theo biểu thức (5.20), trang 120, [3]:

$$h_d = h_{g\ddot{o}} + \Delta h_1 + \Delta P + h_{d'}, \text{ mm.chất lỏng}$$

Trong đó:

+ $h_{g\ddot{o}}$: chiều cao gờ chảy tràn, mm

+ Δh_1 : chiều cao lớp chất lỏng trên mâm, mm

+ ΔP : tổng trở lực của 1 mâm, mm.chất lỏng

+ $h_{d'}$: tổn thất thủy lực do dòng lỏng chảy từ ống chảy chuyển vào mâm, được xác định theo biểu thức (5.10), trang 115, [3]:

$$h_{d'} = 0,128 \cdot \left(\frac{Q_L}{100 \cdot S_d} \right)^2, \text{ mm.chất lỏng}$$

+ Q_L : lưu lượng của chất lỏng (m^3/h).

+ S_d : tiết diện giữa ống chảy chuyển và mâm.

$$S_d = 0,8 \cdot S_{\text{mâm}} = 0,8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,4^2 = 0,10 \text{ m}^2$$

Để tháp không bị ngập lụt khi hoạt động thì: $h_d \leq \frac{1}{2} \Delta h = 125 \text{ mm}$

6.1. Phần luyện

$$\Delta h_{1L} = 0,0045 \cdot 1000 = 4,5 \text{ mm}$$

$$\Delta P_L = \frac{286,27}{\rho_{LL} g} \times 1000 = \frac{286,27}{835,78 \cdot 9,81} \times 1000 = 34,92 \text{ mm.chất lỏng}$$

$$h_{d'L} = 0,128 \cdot \left(\frac{Q_{LL}}{100 \cdot S_d} \right)^2 = 0,128 \cdot \left(\frac{8,17 \cdot 10^{-5} \cdot 3600}{100 \cdot 0,10} \right)^2 = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ mm.chất lỏng}$$

Nên: $h_{dL} = 30 + 4,5 + 34,92 + 1,11 \cdot 10^{-4} = 69,42 \text{ mm} < 125 \text{ mm}$

Vậy: Khi hoạt động thì mâm ở phần luyện sẽ không bị ngập lụt.

6.2. Phần chưng

$$\Delta h_{1C} = 0,0032 \cdot 1000 = 3,2 \text{ (mm)}$$

$$\Delta P_C = \frac{269,54}{\rho_{LC} g} \times 1000 = \frac{269,54}{941,39 \cdot 9,81} \times 1000 = 40,02 \text{ mm.chất lỏng}$$

$$h_{d'C} = 0,128 \cdot \left(\frac{Q_{LC}}{100 \cdot S_d} \right)^2 = 0,128 \cdot \left(\frac{4,83 \cdot 10^{-5} \cdot 3600}{100 \cdot 0,10} \right)^2 = 3,89 \cdot 10^{-5} \text{ mm.chất lỏng}$$

Nên: $h_{dC} = 30 + 3,2 + 40,02 + 3,89 \cdot 10^{-5} = 73,22 \text{ mm} < 125 \text{ mm}$

Vậy: Khi hoạt động thì mâm ở phần chưng sẽ không bị ngập lụt.

Kết luận: Khi hoạt động tháp sẽ không bị ngập lụt.

IV. Bề dày tháp :

1. Thân tháp

Vì tháp hoạt động ở áp suất thường nên ta thiết kế thân hình trụ bằng phương pháp hàn hồ quang điện, kiểu hàn giáp mối 2 phía. Thân tháp được ghép với nhau bằng các mối ghép bích.

Để đảm bảo chất lượng của sản phẩm ta chọn thiết bị thân tháp là thép không gỉ mã X18H10T.

1.1. Các thông số cần tra và chọn phục vụ cho quá trình tính toán

Nhiệt độ tính toán: $t = t_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$

Áp suất tính toán: vì tháp hoạt động ở áp suất thường nên: $P = P_{\text{thủy tĩnh}} + \Delta P$

Khối lượng riêng trung bình của pha lỏng trong toàn tháp:

$$\rho_L = \frac{\rho_{LL} + \rho_{LC}}{2} = \frac{941,39 + 835,78}{2} = 888,85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Nên: } P = \rho_L g H + \Delta P = 888,85 \cdot 9,81 \cdot 5,17 + 6350,0 = 51416,7 \text{ N/m}^2 \\ = 0,0514 \text{ N/mm}^2$$

Hệ số bổ sung do ăn mòn hóa học của môi trường:

Vì môi trường có tính ăn mòn và thời gian sử dụng thiết bị là trong 20 năm

$$\Rightarrow C_a = 1 \text{ mm}$$

Ứng suất cho phép tiêu chuẩn:

Vì vật liệu là X18H10T $\Rightarrow [\sigma]^* = 142 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ (Hình 1.2, trang 16, [7])

Hệ số hiệu chỉnh:

Vì thiết bị không bọc lớp cách nhiệt $\Rightarrow \eta = 1$ (trang 26, [7])

Ứng suất cho phép: $[\sigma] = \eta [\sigma]^* = 142 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Hệ số bền mối hàn:

Vì sử dụng phương pháp hàn hồ quang điện, kiểu hàn giáp mối 2 phía

$$\Rightarrow \varphi_h = 0,95 \text{ (Bảng XIII.8, trang 362, [2])}$$

1.2. Tính bề dày

$$\text{Ta có: } \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h = \frac{142}{0,0552} \times 0,95 = 2443,84 > 25$$

$$\Rightarrow S' = \frac{D_t P}{2[\sigma] \varphi_h} = \frac{400 \times 0,0514}{2 \times 142 \times 0,95} = 0,077 \text{ mm} \Rightarrow S' + C_a = 0,077 + 1 = 1,077 \text{ mm}$$

Quy tròn theo chuẩn: $S = 2 \text{ mm}$ (Bảng XIII.9, trang 364, [2])

Bề dày tối thiểu: $S_{\min} = 2 \text{ mm}$ (Bảng 5.1, trang 94, [7])

$$\Rightarrow \text{Bề dày } S = 2 \text{ mm}$$

1.3. Kiểm tra độ bền

$$\text{Điều kiện: } \frac{S - C_a}{\phi} \leq 0,1 \Leftrightarrow \frac{2 - 1}{400} = 2,5 \cdot 10^{-3} < 0,1 \text{ (thỏa)}$$

$$\text{Nên: } [P] = \frac{2[\sigma] D_t (S - C_a)}{D_t + (S - C_a)} = \frac{2 \times 142 \times 0,95 \times (2 - 1)}{400 + (2 - 1)} = 0,673 > P = 0,09 \text{ (thỏa)}$$

Kết luận: $S = 2 \text{ mm}$

2. Đáy và nắp:

Chọn đáy và nắp có dạng hình ellip tiêu chuẩn, có gờ, làm bằng thép X18H10T
 Chọn bề dày đáy và nắp bằng với bề dày thân tháp: $S = 3 \text{ mm}$.

Kiểm tra điều kiện:

$$\begin{cases} \frac{S - C_a}{D_t} \leq 0,125 \\ [P] = \frac{2[\sigma]\varphi_h(S - C_a)}{R_t + (S - C_a)} \geq P \end{cases}$$

Vì đáy và nắp có hình ellip tiêu chuẩn với $\frac{h_t}{D_t} = 0,25 \Rightarrow R_t = D_t$

\Rightarrow Điều kiện trên được thỏa như đã kiểm tra ở phần thân tháp.

Kết luận: Kích thước của đáy và nắp:

Đường kính trong: $D_t = 400 \text{ mm}$

$h_t = 100 \text{ mm}$

Chiều cao gờ: $h_{gờ} = 25 \text{ mm}$

Bề dày: $S = 2 \text{ mm}$

Diện tích bề mặt trong: $S_{bề\ mặt} = 0,2 \text{ m}^2$ (Bảng XIII.10, trang 382, [2])

V. Bề dày mâm :

1. Các thông số cần tra và chọn phục vụ cho quá trình tính toán

Nhiệt độ tính toán: $t = t_{\max} = 100 \text{ (}^\circ\text{C)}$

Áp suất tính toán: $P = P_{\text{thủy tĩnh}} + P_g$

Chọn bề dày gờ chảy tràn là 3mm.

Thể tích của gờ chảy tràn: $V = 0,29.0,03.0,003 = 2,61.10^{-5} \text{ m}^3$

Tra bảng XII.7, trang 313, [6]:

\Rightarrow Khối lượng riêng của thép X18H10T là: $\rho_{\text{X18H10T}} = 7900 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng gờ chảy tràn: $m = V.\rho_{\text{X18H10T}} = 2,61.10^{-5}.7900 = 0,2062 \text{ kg}$

Áp suất do gờ chảy tràn tác dụng lên mâm tròn

$$P_g = \frac{mg}{\pi \frac{D_t^2}{4}} = \frac{0,2062.9,81}{3,14. \frac{0,4^2}{4}} = 11,60 \text{ N/m}^2$$

Khối lượng riêng của chất lỏng tại đáy tháp:

Ta có $x_W = 0,0085$ suy ra $T_W = 98,5^\circ\text{C}$

- Tra bảng 1.249, trang 311, [1]

Khối lượng riêng của nước ở $98,5^\circ\text{C}$: $\rho_N = 959,22 \text{ kg/m}^3$

- Tra bảng 1.2, trang 9, [1]

Khối lượng riêng của metanol ở $98,5^\circ\text{C}$: $\rho_R = 715,08 \text{ kg/m}^3$

- Áp dụng trong công thức (1.2), trang 5, [1]

$$\frac{1}{\rho_{LW}} = \frac{\bar{x}_W}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_W}{\rho_N} = \frac{0,0085}{715,08} - \frac{1 - 0,0085}{959,22} = 1,045.10^{-3}$$

Suy ra $\rho_{LW} = 956,44 \text{ kg/m}^3$

Áp suất thủy tĩnh:

$$\begin{aligned} P_{\text{thủy tĩnh}} &= \rho_{\text{LW}} g (h_{\text{gờ}} + \Delta h_{\text{IC}}) \\ &= 956,44 \cdot 9,81 \cdot (0,03 + 0,0045) \\ &= 326,75 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow P = 326,75 + 11,06 = 337,81 \text{ N/m}^2$$

Hệ số bổ sung do ăn mòn hóa học của môi trường:

Thời gian sử dụng thiết bị là trong 20 năm

$$\Rightarrow C_a = 1 \text{ mm}$$

Ứng suất cho phép tiêu chuẩn:

$$\text{Vì vật liệu là X18H10T} \Rightarrow [\sigma]^* = 142 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Hình 1.2, trang 16, [7]})$$

$$\text{Hệ số hiệu chỉnh: } \eta = 1 \quad (\text{Trang 19, [7]})$$

$$\text{Ứng suất cho phép: } [\sigma] = \eta [\sigma]^* = 142 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Môđun đàn hồi: } E = 20 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{Bảng 2.12, trang 45, [7]})$$

$$\text{Hệ số Poisson: } \mu = 0,33 \quad (\text{Bảng XII.7, trang 313, [2]})$$

$$\text{Hệ số điều chỉnh: } \varphi_b = 0,571$$

2. Tính bề dày:

Đối với bản tròn đặc ngâm kẹp chặt theo chu vi:

$$\text{Ứng suất cực đại ở vòng chu vi: } \sigma_{\text{max}} = \frac{3P}{16} \left(\frac{D}{S} \right)^2 \quad (\text{Công thức 6.36, trang 100, [8]})$$

$$\text{Đối với bản có đục lỗ: } \sigma_{t \text{ max}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\varphi_b} = \frac{3P}{16\varphi_b} \left(\frac{D}{S} \right)^2 \leq [\sigma]$$

$$\Leftrightarrow S' \geq D_t \sqrt{\frac{3P}{16[\sigma]\varphi_b}} = 400 \sqrt{\frac{3 \times 337,81 \cdot 10^{-6}}{16 \times 142 \times 0,571}} = 0,354 \text{ mm}$$

$$\text{Nên: } S + C_a = 1,354 \text{ mm}$$

$$\text{Chọn } S = 2 \text{ mm}$$

Kiểm tra điều kiện bền:

$$\text{Độ võng cực đại ở tâm: } W_o = \frac{PR^4}{64D_T} \quad (\text{Công thức 6.35, trang 100, [8]})$$

$$\text{Đối với bản có đục lỗ: } W_{lo} = \frac{W_o}{\varphi_b} = \frac{PR^4}{64\varphi_b D_T}$$

$$\text{Với: } D_T = \frac{ES^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$\Rightarrow W_{lo} = \frac{W_o}{\varphi_b} = \frac{12PR^4(1-\mu^2)}{64\varphi_b ES^3} = \frac{3}{16} \cdot \frac{PR^4(1-\mu^2)}{\varphi_b ES^3}$$

Để đảm bảo điều kiện bền thì: $W_{lo} < \frac{1}{2} S$

$$W_{lo} = \frac{3}{16} \cdot \frac{337,81 \cdot 10^{-6} \times 200^4 (1-0,33^2)}{0,571 \times 200000 \times 2^3} = 0,050 < \frac{S}{2} = 1,0$$

\Rightarrow Bề dày S đã chọn thỏa điều kiện.

Vậy: $S = 2 \text{ mm}$

VI. Bích ghép thân – đáy và nắp :

Mặt bích là bộ phận quan trọng dùng để nối các phần của thiết bị cũng như nối các bộ phận khác với thiết bị. Các loại mặt bích thường sử dụng:

Bích liền: là bộ phận nối liền với thiết bị (hàn, đúc và rèn). Loại bích này chủ yếu dùng thiết bị làm việc với áp suất thấp và áp suất trung bình.

Bích tự do: chủ yếu dùng nối ống dẫn làm việc ở nhiệt độ cao, để nối các bộ bằng kim loại màu và hợp kim của chúng, đặc biệt là khi cần làm mặt bích bằng vật liệu bền hơn thiết bị.

Bích rèn: chủ yếu dùng cho thiết bị làm việc ở áp suất cao.

Chọn bích được ghép thân, đáy và nắp làm bằng thép CT3, cấu tạo của bích là bích liền không cổ.

Tra bảng XIII.27, trang 417, [2], ứng với $D_t = \phi = 400 \text{ (mm)}$ và áp suất tính toán $P = 0,055 \text{ (N/mm}^2\text{)} \Rightarrow$ chọn bích có các thông số sau:

D _t	D	D _b	D _l	D _o	h	Bu lông	
						d _b	Z
(mm)							(cái)
400	515	475	450	411	20	M16	20

Tra bảng IX.5, trang 170, [2], với $\Delta h = 250 \text{ mm} \Rightarrow$ khoảng cách giữa 2 mặt bích là 1000 mm và số mâm giữa 2 mặt bích là 4.

\Rightarrow Số mặt bích cần dùng để ghép là: $21/4 + 2 = 8$ bích

Độ kín của mối ghép bích chủ yếu do vật đệm quyết định. Đệm làm bằng các vật liệu mềm hơn so với vật liệu bích. Khi xiết bu lông, đệm bị biến dạng và điền đầy lên các chỗ gồ ghề trên bề mặt của bích. Vậy, để đảm bảo độ kín cho thiết bị ta chọn đệm là dây amiăng, có bề dày là 3mm.

VII. Chân đỡ tháp :

1. Tính trọng lượng của toàn tháp:

Tra bảng XII.7, trang 313, [2]:

\Rightarrow Khối lượng riêng của thép CT3 là: $\rho_{CT3} = 7850 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng của một bích ghép thân:

$$m_{\text{bích ghép thân}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_t^2) \cdot h \cdot \rho_{CT3} = \frac{\pi}{4} (0,515^2 - 0,40^2) \times 0,02 \times 7850 = 12,97 \text{ kg}$$

Khối lượng của một mâm:

$$m_{\text{mâm}} = \frac{\pi}{4} D_t^2 \delta_{\text{mâm}} (100\% - 8\% - 10\%) \rho_{X18H10T} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,40^2 \cdot 0,002 \cdot 0,82 \cdot 7900 = 1,63 \text{ kg}$$

Khối lượng của thân tháp:

$$m_{\text{thân}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{ng}}^2 - D_{\text{t}}^2) \cdot H_{\text{thân}} \cdot \rho_{\text{X18H10T}} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,404^2 - 0,40^2) \cdot 5,042 \cdot 7900 = 100,56 \text{ kg}$$

Khối lượng của đáy (nắp) tháp:

$$m_{\text{đáy(nắp)}} = S_{\text{bề mặt}} \cdot \delta_{\text{đáy}} \cdot \rho_{\text{X18H10T}} = 0,20 \cdot 0,002 \cdot 7900 = 3,16 \text{ kg}$$

Khối lượng của toàn tháp:

$$\begin{aligned} m &= 8 m_{\text{bích ghép thân}} + 21 m_{\text{mâm}} + m_{\text{thân}} + 2 m_{\text{đáy(nắp)}} \\ &= 8 \cdot 12,97 + 21 \cdot 1,63 + 100,56 + 2 \cdot 3,16 = 243,43 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Tính chân đỡ tháp:

Chọn chân đỡ: tháp được đỡ trên bốn chân.

Vật liệu làm chân đỡ tháp là thép CT₃.

$$\text{Tải trọng cho phép trên một chân: } G_c = \frac{P}{4} = \frac{mg}{4} = \frac{243,43 \cdot 9,81}{4} = 597,01 \text{ N}$$

Để đảm bảo độ an toàn cho thiết bị, ta chọn: $G_c = 1000 \text{ N}$

Tra bảng XIII.35, trang 437, [2] \Rightarrow chọn chân đỡ có các thông số sau:

L	B	B ₁	B ₂	H	h	s	l	d
70	60	60	90	150	105	4	30	14

Khối lượng một chân đỡ: $m_{\text{chân đỡ}} = 3,32 \text{ kg}$

VIII. Tai treo tháp :

Chọn tai treo: tai treo được gắn trên thân tháp để giữ cho tháp khỏi bị dao động trong điều kiện ngoại cảnh.

Chọn vật liệu làm tai treo là thép CT₃.

Ta chọn bốn tai treo, tải trọng cho phép trên một tai treo: $G_t = G_c = 1000 \text{ (N)}$.

Tra bảng XIII.36, trang 438, [2] \Rightarrow chọn tai treo có các thông số sau:

L	B	B ₁	H	S	l	a	d
80	55	70	125	4	30	10	14

Khối lượng một tai treo: $m_{\text{tai treo}} = 0,53 \text{ kg}$

IX. Cửa nối ống dẫn với thiết bị- bích nối các bộ phận của thiết bị và ống dẫn:

Ống dẫn thường được nối với thiết bị bằng mối ghép tháo được hoặc không tháo được. Trong thiết bị này, ta sử dụng mối ghép tháo được.

Đối với mối ghép tháo được, người ta làm đoạn ống nối, đó là đoạn ống ngắn có mặt bích hay ren để nối với ống dẫn:

Loại có mặt bích thường dùng với ống có đường kính $d > 10\text{mm}$.

Loại ren chủ yếu dùng với ống có đường kính $d \leq 10\text{mm}$, đôi khi có thể dùng với $d \leq 32\text{mm}$.

Ống dẫn được làm bằng thép X18H10T.

Bích được làm bằng thép CT₃, cấu tạo của bích là bích liền không cổ.

1. Ống nhập liệu:

Khối lượng riêng của hỗn hợp: $\rho_F = 933,0 \text{ kg/m}^3$

Chọn loại ống nối cắm sâu vào thiết bị.

Chọn vận tốc chất lỏng trong ống nối là $v_F = 1 \text{ m/s}$

Đường kính trong của ống nối:

$$D_y = \sqrt{\frac{4.G_F}{3600\rho_F\pi v_F}} = \sqrt{\frac{4.933,0}{3600 \times 933,0 \times \pi \times 1}} = 0,0188 \text{ m}$$

⇒ Chọn ống có $D_y = 20 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.26, trang 409, [2]

⇒ Các thông số của bích ứng với $P = 0,055 \text{ N/mm}^2$ là:

D _y	D _n	D	D _δ	D _l	h	Bu lông	
						d _b	Z
(mm)							(cái)
20	25	90	65	50	12	M10	4

2. Ống hơi ở đỉnh tháp:

- Nồng độ trung bình của pha hơi ở đỉnh tháp

$$y_P = x_P = 0,9144$$

⇒ Nhiệt độ trung bình của pha hơi ở đỉnh tháp: $T_{HP} = 67,8^\circ\text{C}$

- Khối lượng mol trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$M_{HL} = y_L \cdot M_R + (1 - y_L) \cdot M_N = 0,9144 \cdot 32 + (1 - 0,9144) \cdot 18 = 30,80 \text{ kg/kmol}$$

- Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$\rho_{HL} = \frac{PM_{HL}}{RT_{HL}} = \frac{1.30,80}{\frac{22,4}{273} \cdot (67,8 + 273)} = 1,101 \text{ kg/m}^3$$

Chọn vận tốc hơi ra khỏi đỉnh tháp là $v_{HD} = 50 \text{ m/s}$

Đường kính trong của ống nối:

$$D_y = \sqrt{\frac{4.G_{HD}}{3600\rho_{HD}\pi v_{HD}}} = \sqrt{\frac{4.83,57}{3600 \cdot 1,101 \cdot \pi \cdot 50}} = 0,023 \text{ m}$$

⇒ Chọn ống có $D_y = 25 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.32, trang 434, [2] ⇒ Chiều dài đoạn ống nối $l = 90 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.26, trang 409, [2]

⇒ Các thông số của bích ứng với $P = 0,055 \text{ N/mm}^2$ là:

D_y	D_n	D	D_δ	D_l	h	Bu lông	
						d_b	Z

(mm)							(cái)
25	32	100	75	60	12	M10	4

3. Ống hoàn lưu:

- Nồng độ trung bình của pha lỏng ở đỉnh tháp

$$x_P = 0,9144$$

⇒ Nhiệt độ trung bình của pha hơi ở đỉnh tháp: $T_{HP} = 65,8^\circ\text{C}$

- Tra bảng 1.249, trang 311, [1]

Khối lượng riêng của nước ở $65,8^\circ\text{C}$: $\rho_N = 981,2 \text{ kg/m}^3$

- Tra bảng 1.2, trang 9, [1]

Khối lượng riêng của metanol ở $65,8^\circ\text{C}$: $\rho_R = 752,8 \text{ kg/m}^3$

- Áp dụng trong công thức (1.2), trang 5, [1]

$$\frac{1}{\rho_{LC}} = \frac{\bar{x}_C}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_C}{\rho_N} = \frac{0,95}{752,8} - \frac{1 - 0,95}{981,2} = 1,30 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{LC} = 768,1 \text{ kg/m}^3$$

Chọn loại ống nối cắm sâu vào thiết bị.

Chọn vận tốc chất lỏng trong ống nối là $v_{LD} = 0,5 \text{ m/s}$

Đường kính trong của ống nối:

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{LP}}{3600 \rho_{LP} \pi v_{LP}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 83,57 \cdot 3,71}{3600 \times 768,1 \times \pi \times 0,5}} = 0,017 \text{ m}$$

⇒ Chọn ống có $D_y = 20 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.26, trang 409, [2]

⇒ Các thông số của bích ứng với $P = 0,055 \text{ N/mm}^2$ là:

D _y	D _n	D	D _δ	D _l	h	Bu lông	
						d _b	Z
(mm)							(cái)
20	25	90	65	50	12	M10	4

4. Ống hơi ở đáy tháp:

- Nồng độ trung bình của pha hơi ở đáy tháp

$$y_W = x_W = 0,0085$$

⇒ Nhiệt độ trung bình của pha hơi ở đáy tháp: $T_{HP} = 99,6^\circ\text{C}$

- Khối lượng mol trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$M_{HW} = y_W \cdot M_R + (1 - y_W) \cdot M_N = 0,0085 \cdot 32 + (1 - 0,0085) \cdot 18 = 18,12 \text{ kg/kmol}$$

- Khối lượng riêng trung bình của pha hơi trong phần luyện:

$$\rho_{HW} = \frac{PM_{HW}}{RT_{HW}} = \frac{1 \cdot 18,12}{\frac{22,4}{273} \cdot (99,6 + 273)} = 0,593 \text{ kg/m}^3$$

Chọn vận tốc hơi vào đáy tháp là $v_{HW} = 120 \text{ m/s}$

Đường kính trong của ống nối:

$$D_y = \sqrt{\frac{4.G_{HW}}{3600\rho_{HW}\pi v_{HW}}} = \sqrt{\frac{4.827,1}{3600.0,593.\pi.120}} = 0,064 \text{ m}$$

⇒ Chọn ống có $D_y = 70 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.32, trang 434, [2] ⇒ Chiều dài đoạn ống nối $l = 110 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.26, trang 409, [2]

⇒ Các thông số của bích ứng với $P = 0,055 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ là:

D _y	D _n	D	D _δ	D _l	h	Bu lông	
						d _b	Z
(mm)							(cái)
70	76	160	130	110	14	M12	4

5. Ống dẫn lỏng ra khỏi đáy tháp:

- Nồng độ trung bình của pha lỏng ở đáy tháp

$$x_W = 0,0085$$

⇒ Nhiệt độ của pha lỏng ở đáy tháp: $T_{LW} = 98,5^\circ\text{C}$

- Tra bảng 1.249, trang 311, [1]

Khối lượng riêng của nước ở $98,5^\circ\text{C}$: $\rho_N = 959,2 \text{ kg/m}^3$

- Tra bảng 1.2, trang 9, [1]

Khối lượng riêng của metanol ở $98,5^\circ\text{C}$: $\rho_R = 716,8 \text{ kg/m}^3$

- Áp dụng trong công thức (1.2), trang 5, [1]

$$\frac{1}{\rho_{LW}} = \frac{\bar{x}_W}{\rho_R} + \frac{1-\bar{x}_W}{\rho_N} = \frac{0,015}{716,8} + \frac{1-0,015}{959,2} = 1,05.10^{-3}$$

$$\rho_{LW} = 954,4 \text{ kg/m}^3$$

Chọn vận tốc chất lỏng trong ống nối là $v_{LW} = 0,5 \text{ m/s}$

Đường kính trong của ống nối:

$$D_y = \sqrt{\frac{4.G_{LW}}{3600\rho_{LW}\pi v_{LW}}} = \sqrt{\frac{4.827,1}{3600.954,4.\pi.0,5}} = 0,025 \text{ m}$$

⇒ Chọn ống có $D_y = 25 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.32, trang 434, [2] ⇒ Chiều dài đoạn ống nối $l = 90 \text{ mm}$

Tra bảng XIII.26, trang 409, [6]

⇒ Các thông số của bích ứng với $P = 0,055 \text{ N/mm}^2$ là:

D _y	D _n	D	D _δ	D _l	h	Bu lông	
						d _b	Z
(mm)							(cái)
25	32	100	75	60	12	M10	4

CHƯƠNG 5:

Tính thiết bị phụ

I. THIẾT BỊ ĐUN SÔI ĐÁY THẤP :

Chọn thiết bị đun sôi đáy thấp là nồi đun Kettle.

Ống truyền nhiệt được làm bằng thép X18H10T, kích thước ống 38 x 3:

Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$

Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$

Đường kính trong: $d_t = 0,032 \text{ m}$

Hơi đốt là hơi nước ở 2,0 at đi trong ống 38 x 3. **Tra bảng 1.251, trang 314, [1]:**

Nhiệt hóa hơi: $r_{H_2O} = r_n = 2208 \text{ kJ/kg}$

Nhiệt độ sôi: $t_{H_2O} = t_n = 119,6^\circ\text{C}$

Dòng sản phẩm tại đáy có nhiệt độ:

Trước khi vào nồi đun (lỏng): $t_{s1} = 98,5^\circ\text{C}$

Sau khi được đun sôi (hơi): $t_{s2} = 99,6^\circ\text{C}$

1. Suất lượng hơi nước cần dùng:

Cân bằng nhiệt cho toàn tháp:

$$Q_d + G_F h_{FS} = (R+1) G_D r_D + G_D h_{DS} + G_W h_{WS} + Q_m$$

Giả sử $Q_m = 0,05 Q_d$

$$\Rightarrow 0,95 Q_d = (R+1) G_D r_D + G_D (h_{DS} - h_{FS}) + G_W (h_{WS} - h_{FS})$$

$$h_{FS} = c_F \cdot t_{FS} = [\bar{x}_F c_N + (1 - \bar{x}_F) c_A] t_{FS}$$

$$h_{WS} = c_W \cdot t_{WS} = [\bar{x}_W c_N + (1 - \bar{x}_W) c_A] t_{WS}$$

$$h_{PS} = c_P \cdot t_{PS} = [\bar{x}_P c_N + (1 - \bar{x}_P) c_A] t_{PS}$$

$$r_D = \bar{x}_D r_N + (1 - \bar{x}_D) r_A$$

Với $x_F = 0,0588 \Rightarrow t_{FS} = 91,5^\circ\text{C}$

$x_W = 0,0085 \Rightarrow t_{WS} = 98,5^\circ\text{C}$

$x_P = 0,9144 \Rightarrow t_{PS} = 65,8^\circ\text{C}$

1.1. Nhiệt dung riêng:

Tra bảng 1.249, trang 310, [1]

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của nước ở $91,5^\circ\text{C} = 4,210 \text{ kJ/kg.K}$

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của nước ở $98,5^\circ\text{C} = 4,218 \text{ kJ/kg.K}$

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của nước ở $65,8^\circ\text{C} = 4,184 \text{ kJ/kg.K}$

Tra bảng 1.154, trang 172, [1]

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của methanol ở $91,5^\circ\text{C} = 2,920 \text{ kJ/kg.K}$

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của methanol ở $98,5^\circ\text{C} = 2,958 \text{ kJ/kg.K}$

\Rightarrow Nhiệt dung riêng của methanol ở $65,8^\circ\text{C} = 2,788 \text{ kJ/kg.K}$

1.2. Enthalpy:

$$h_{FS} = (0,1 \cdot 2,920 + (1 - 0,1) \cdot 4,210) \cdot 91,5 = 373,41 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{WS} = (0,0085 \cdot 2,958 + (1 - 0,0085) \cdot 4,218) \cdot 98,5 = 414,42 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{PS} = (0,9144 \cdot 2,788 + (1 - 0,9144) \cdot 4,184) \cdot 65,8 = 191,31 \text{ kJ/kg}$$

1.3. Nhiệt hóa hơi:

Tra bảng 1.250, trang 312, [1]

⇒ Nhiệt hóa hơi của nước ở $65,8^\circ\text{C} = r_N = 2344,8 \text{ kJ/kg}$

Dùng toán đồ 1.65, trang 255, [1]

⇒ Nhiệt hóa hơi của methanol ở $65,8^\circ\text{C} = r_R = 330,5 \text{ Kcal/kg} = 1383,74 \text{ kJ/kg}$

Nên: $r_P = \bar{x}_P r_N + (1 - \bar{x}_P) r_A$

$$= 0,95 \cdot 2344,8 + (1 - 0,95) \cdot 1383,74 = 2296,75 \text{ kJ/kg}$$

1.4. Tính lượng hơi nước cần dùng:

Nhiệt lượng cần cung cấp:

$$\begin{aligned} Q_d &= \frac{(R+1)G_P r_P + G_P (h_{PS} - h_{FS}) + G_W (h_{WS} - h_{FS})}{0,95} \\ &= \frac{(3,71+1) \cdot 83,57 \cdot 2296,75 + 83,57 \cdot (191,31 - 373,41) + 827,1 \cdot (414,42 - 373,41)}{0,95} \\ &= 971300,88 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Nếu dùng hơi nước bão hòa (không chứa ẩm) để cấp nhiệt thì: $Q_d = G_{H_2O} \cdot r_{H_2O}$

Tra bảng 1.251, trang 314, [1]

⇒ Nhiệt hóa hơi của nước ở $2,0 \text{ at} = r_{H_2O} = 2208 \text{ kJ/kg}$

$$\text{Vậy: } G_{H_2O} = \frac{Q_d}{r_{H_2O}} = \frac{971300,88}{2208} = 440,0 \text{ kg/h}$$

2. Hiệu số nhiệt độ trung bình:

Chọn kiểu truyền nhiệt ngược chiều, nên:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(119,6 - 98,5) - (119,6 - 99,6)}{\ln \frac{119,6 - 98,5}{119,6 - 99,6}} = 20,545 \text{ K}$$

3. Hệ số truyền nhiệt:

Hệ số truyền nhiệt K được tính theo công thức như đối với tường phẳng:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum r_i + \frac{1}{\alpha_s}}, \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Với:

- α_n : hệ số cấp nhiệt của hơi đốt, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- α_s : hệ số cấp nhiệt của sản phẩm đáy, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

- Σr_t : nhiệt trở qua thành ống và lớp cấu.

3.1. Nhiệt tải qua thành ống và lớp cấu:

$$q_t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\Sigma r_t}, \text{ W/m}^2$$

Trong đó:

t_{w1} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với hơi đốt (trong ống), °C

t_{w2} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với sản phẩm đáy (ngoài ống), °C

$$\Sigma r_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} + r_1 + r_2$$

Bề dày thành ống: $\delta_t = 0,003 \text{ m}$

Hệ số dẫn nhiệt của thép không gỉ:

$$\lambda_t = 16,3 \text{ W/mK (Bảng XII.7, trang 313, [6])}$$

Nhiệt trở lớp bẩn trong ống:

$$r_1 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W (Bảng 31, trang 419, [4])}$$

Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống:

$$r_2 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Nên: $\Sigma r_t = 5,289.10^{-4} \text{ m}^2.\text{K/W}$

3.2. Xác định hệ số cấp nhiệt của dòng sản phẩm đáy ngoài ống:

Áp dụng công thức (V.89), trang 26, [2]:

$$\alpha_s = 7,77 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{\rho_h \cdot r}{\rho - \rho_h} \right)^{0,033} \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,333} \cdot \frac{\lambda^{0,75} \cdot q^{0,7}}{\mu^{0,45} \cdot c^{0,117} \cdot T_s^{0,37}}$$

Nhiệt độ sôi trung bình của dòng sản phẩm ở ngoài ống:

$$t_s = \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2} = \frac{98,5 + 99,6}{2} = 99,05 \text{ °C}$$

$$\Rightarrow T_s = 99,05 + 273 = 372,05 \text{ K}$$

Tại nhiệt độ sôi trung bình thì:

- Khối lượng riêng của pha hơi trong dòng sản phẩm ở ngoài ống:

$$\rho_h = \frac{PM_{HW}}{RT_s} = \frac{1.18,12}{22,4 \cdot 372,05} = 0,594 \text{ kg/m}^3$$

- Khối lượng riêng của nước:

$$\rho_N = 959,2 \text{ kg/m}^3 \text{ (Bảng 1.249, trang 310, [1])}$$

- Khối lượng riêng của methanol:

$$\rho_R = 715,0 \text{ kg/m}^3 \text{ (Bảng 1.2, trang 9, [1])}$$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_W}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_W}{\rho_A} = \frac{0,015}{715,0} + \frac{1 - 0,015}{959,2} = 1,05.10^{-3}$$

$$\Rightarrow \rho = 954,3 \text{ kg/m}^3$$

- Độ nhớt của nước:

$$\mu_N = 2,85.10^{-4} \text{ N.s/m}^2 \text{ (Tra bảng 1.104, trang 96, [1])}$$

- Độ nhớt của methanol:

$$\mu_A = 2,45.10^{-4} \text{ N.s/m}^2 \text{ (Dùng toán đồ 1.18, trang 90, [1])}$$

Sử dụng công thức (1.12), trang 84, [1] suy ra độ nhớt của hỗn hợp lỏng:

$$\lg \mu_{hh} = x_1 \lg \mu_1 + x_2 \lg \mu_2$$

$$\text{Nên: } \lg \mu_{hh} = 0,0085. \lg(2,45.10^{-4}) + (1 - 0,0085). \lg(2,85.10^{-4})$$

$$\Rightarrow \mu_{hh} = 2,846.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

- Hệ số dẫn nhiệt của nước:

$$\lambda_N = 0,680 \text{ W/mK (Bảng 1.249, trang 310, [5])}$$

- Hệ số dẫn nhiệt của methanol:

$$\lambda_R = 0,188 \text{ W/mK (Bảng 1.130, trang 134, [5])}$$

Áp dụng công thức (1.33), trang 123, [5]:

$$\lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_W + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_W) - 0,72 \cdot \bar{x}_W \cdot (1 - \bar{x}_W) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,667 \text{ W/mK}$$

- Nhiệt dung riêng của nước:

$$c_N = 4219,2 \text{ J/kgK (Bảng 1.249, trang 310, [1])}$$

- Nhiệt dung riêng của methanol:

$$c_R = 2906,0 \text{ J/kgK (Bảng 1.154, trang 172, [1])}$$

$$\text{Nên: } c = c_R \bar{x}_W + c_N \cdot (1 - \bar{x}_W) = 4199,3 \text{ J/kgK}$$

- Sức căng bề mặt của nước:

$$\sigma_N = 0,59022 \text{ N/m (Bảng 1.249, trang 310, [1])}$$

- Sức căng bề mặt của methanol:

$$\sigma_A = 0,01578 \text{ N/m (Bảng 1.242, trang 300, [1])}$$

$$\text{Nên: } \sigma = \frac{\sigma_N \sigma_A}{\sigma_N + \sigma_A} = 0,0158 \text{ N/m}$$

- Nhiệt hóa hơi của nước:

$$r_N = 2262,2 \text{ kJ/kg (Bảng 1.250, trang 312, [5])}$$

- Nhiệt hóa hơi của methanol:

$$r_R = 1032,3 \text{ kJ/kg (Toán đồ 1.65, trang 255, [5])}$$

$$\text{Nên: } r = r_R \bar{x}_W + r_N \cdot (1 - \bar{x}_W) = 2243,8 \text{ kJ/kg}$$

3.3. Xác định hệ số cấp nhiệt của hơi đốt trong ống:

Áp dụng công thức (3.65), trang 120, [4]:

$$\alpha_n = 0,7254 \sqrt{\frac{r_n \cdot \rho_n^2 \cdot g \cdot \lambda_n^3}{\mu_n \cdot (t_n - t_{w1}) \cdot d_{tr}}}$$

Dùng phép lặp: chọn $t_{w1} = 119,4 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{Nhiệt độ trung bình của màng nước ngưng tụ: } t_m = \frac{t_n + t_{w1}}{2} = 119,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tại nhiệt độ này thì:

$$\text{- Khối lượng riêng của nước: } \rho_n = 943,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{- Độ nhớt của nước: } \mu_n = 2,33.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

- Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_n = 0,685 \text{ W/mK}$

Nên: $\alpha_n = 31342 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$\Rightarrow q_n = \alpha_n (t_n - t_{w1}) = 6268,4 \text{ W/m}^2$$

$$\Rightarrow q_t = q_n = 6268,4 \text{ W/m}^2 \text{ (xem nhiệt tải mất mát là không đáng kể)}$$

$$\Rightarrow t_{w2} = t_{w1} - q_t \Sigma r_t = 116,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \alpha_s = 362,84 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (với } q = q_t)$$

$$\Rightarrow q_s = \alpha_s (t_{w2} - t_s) = 6126,5 \text{ W/m}^2$$

Kiểm tra sai số:

$$\varepsilon = \frac{|q_n - q_s|}{q_n} 100\% = 2,26\% < 5\% \text{ (thỏa)}$$

Kết luận: $t_{w1} = 119,4^\circ\text{C}$ và $t_{w2} = 116,08^\circ\text{C}$

3.4. Xác định hệ số truyền nhiệt:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{31342} + 5,289 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{326,84}} = 301,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Bề mặt truyền nhiệt:

Bề mặt truyền nhiệt được xác định theo phương trình truyền nhiệt:

$$F = \frac{Q_n}{K \Delta t_{\log}} = \frac{971300 \cdot 1000}{3600 \cdot 301,5 \cdot 20,545} = 43,56 \text{ m}^2$$

5. Cấu tạo thiết bị:

Chọn số ống truyền nhiệt: $n = 217$ ống. Ống được bố trí theo hình lục giác đều.

- Chiều dài ống truyền nhiệt: $L = \frac{F}{n\pi \frac{d_n + d_t}{2}} = 1,83 \text{ m} \Rightarrow \text{chọn } L = 2 \text{ m}$

Tra bảng V.II, trang 48, [2] \Rightarrow Số ống trên đường chéo: $b = 17$ ống

- Bước ống: $t = 1, 2d_n = 0,046 \text{ m}$

- Đường kính trong của thiết bị (Áp dụng công thức (V.140), trang 49, [2])

$$D = t \cdot (b-1) + 4d_n = 0,934 \text{ m}$$

II. THIẾT BỊ NGỪNG TỤ SẢN PHẨM ĐỈNH

Chọn thiết bị ngưng tụ vỏ – ống loại TH, đặt nằm ngang.

Ống truyền nhiệt được làm bằng thép X18H10T, kích thước ống 38 x 3:

- Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$

- Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$

- Đường kính trong: $d_{tr} = 0,032 \text{ m}$

Chọn:

- Nước làm lạnh đi trong ống với nhiệt độ vào $t_v = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ và nhiệt độ ra $t_R = 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Dòng hơi tại đỉnh đi ngoài ống với nhiệt độ ngưng tụ $t_{ngưng} = 65,8 \text{ }^\circ\text{C}$

1. Suất lượng nước làm lạnh cần dùng :

Cân bằng nhiệt: $Q_{nt} = (R + 1).G_P.r_P = G_N.c_N.(t_2 - t_1)$

r_D : nhiệt lượng riêng của hơi ở đỉnh tháp:

$$r_D = \bar{x}.r_R + (1 - \bar{x}).r_N$$

r_R, r_N : nhiệt lượng riêng của cấu tử rượu và nước ở đỉnh, J/kg.

\bar{x} phần khối lượng của cấu tử rượu trong pha hơi ở đỉnh.

Tra bảng 1.213, trang 256, [1] :

$$r_R = 675,2 \text{ kcal/kg} = 2826,25 \text{ kJ/kg}$$

Tra bảng 1.250, trang 312, [1] :

$$r_N = 559,5 \text{ kcal/kg} = 2341,96 \text{ kJ/kg}$$

Suy ra: $r_D = 0,95.2826,25 + (1 - 0,95).2341,96 = 2801,1 \text{ kJ/kg}$

$$\Rightarrow Q_{nt} = (1 + 3,71).83,57.2801,1 = 1102,55 \text{ kW}$$

Nên: $Q_{nt} = (R + 1).Dc_P = 1102,55 \text{ kW}$

$$\text{Lượng nước cần dùng: } G_N = \frac{Q_{nt}}{c_N.(t_2 - t_1)} = \frac{1102,55.3600.10^3}{4175,5.(40 - 28)} = 79221,4 \text{ kg/h}$$

$$\text{Nhiệt dung riêng của nước } c_N \text{ được đo ở nhiệt độ } t_f = \frac{t_V + t_R}{2} = \frac{28 + 40}{2} = 34^\circ\text{C}$$

2. Hiệu số nhiệt độ trung bình :

Chọn kiểu truyền nhiệt ngược chiều, nên:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(65,8 - 28) - (65,8 - 40)}{\ln \frac{65,8 - 28}{65,8 - 40}} = 31,42 \text{ K}$$

3. Hệ số truyền nhiệt:

Hệ số truyền nhiệt K được tính theo công thức:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum r_t + \frac{1}{\alpha_{\text{ngưng}}}}, \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Với:

α_n : hệ số cấp nhiệt của dòng nước lạnh, $\text{W/m}^2.\text{K}$

$\alpha_{\text{ngưng}}$: hệ số cấp nhiệt của dòng hơi ngưng tụ, $\text{W/m}^2.\text{K}$

$\sum r_t$: nhiệt trở qua thành ống và lớp cấu.

3.1. Xác định hệ số cấp nhiệt của nước đi trong ống :

Nhiệt độ trung bình của dòng nước trong ống: $t_f = 34^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

- Khối lượng riêng của nước: $\rho_n = 994,42 \text{ kg/m}^3$

- Độ nhớt của nước: $\nu_n = 7,23.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

- Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_n = 0,626 \text{ W/mK}$

- Chuẩn số Prandtl: $Pr_n = 4,9$

Chọn vận tốc nước đi trong ống: $v_n = 1 \text{ m/s}$

$$\Rightarrow \text{Số ống: } n = \frac{G_n}{3600 \rho_N} \cdot \frac{4}{\pi d_{tr}^2 v_n} = \frac{79221,4}{3600 \times 994,42} \cdot \frac{4}{\pi \cdot 0,032^2 \cdot 1} = 27,53$$

Tra bảng V.II, trang 48, [2] \Rightarrow chọn $n = 37$ ống

\Rightarrow Vận tốc thực tế của nước trong ống:

$$v_n = \frac{4G_n}{3600 \rho_n n \pi d_{tr}^2} = \frac{4 \cdot 79221,4}{3600 \cdot 994,42 \cdot 37 \cdot \pi \cdot 0,032^2} = 0,744 \text{ m/s}$$

Chuẩn số Reynolds :

$$\text{Re}_n = \frac{v_n d_{tr}}{\nu_n} = \frac{0,744 \cdot 0,032}{7,23 \cdot 10^{-7}} = 32929,5 > 10^4 \Rightarrow \text{Chế độ chảy rối}$$

Áp dụng công thức (1.74), trang 28, [5] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$\text{Nu}_n = 0,021 \cdot \varepsilon_l \cdot \text{Re}_n^{0,8} \cdot \text{Pr}_n^{0,43} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_n}{\text{Pr}_{p2}} \right)^{0,25}$$

Trong đó: ε_l – hệ số tính đến ảnh hưởng của hệ số cấp nhiệt theo tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d của ống.

Tra bảng 1.1, trang 29, [5] \Rightarrow chọn $\varepsilon_l = 1$

$$\text{Hệ số cấp nhiệt của nước đi trong ống trong: } \alpha_n = \frac{\text{Nu}_n \cdot \lambda_n}{d_{tr}}$$

3.2. Nhiệt tải qua thành ống và lớp cấu :

$$q_t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\Sigma r_t}, \text{ W/m}^2$$

Trong đó:

t_{w1} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với hơi ngưng tụ, °C

t_{w2} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với nước lạnh, °C

$$\Sigma r_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} + r_1 + r_2$$

Bề dày thành ống: $\delta_t = 0,003 \text{ m}$

Hệ số dẫn nhiệt của thép không gỉ: $\lambda_t = 16,3 \text{ W/mK}$

Nhiệt trở lớp bẩn trong ống: $r_1 = 1/5000 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống: $r_2 = 1/5800 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Nên: $\Sigma r_t = 5,565 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

3.3. Xác định hệ số cấp nhiệt của hơi ngưng tụ ngoài ống :

Điều kiện:

- Ngưng tụ hơi bão hòa.
- Không chứa không khí không ngưng.
- Hơi ngưng tụ ở mặt ngoài ống.
- Màng chất ngưng tụ chảy tầng.
- Ống nằm ngang.

Áp dụng công thức (3.65), trang 120, [4] \Rightarrow Đối với ống đơn chiếc nằm ngang thì:

$$\alpha_1 = 0,7254 \sqrt{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \lambda^3}{\mu \cdot (t_{\text{ngưng}} - t_{w1}) \cdot d_n}}$$

Tra bảng V.II, trang 48, [2] \Rightarrow với số ống $n = 37$ thì số ống trên đường chéo của hình 6 cạnh là: $b = 7$

Tra hình V.20, trang 30, [2] \Rightarrow hệ số phụ thuộc vào cách bố trí ống và số ống trong mỗi dãy thẳng đứng là $\epsilon_{tb} = 0,72$ (vì xếp xen kẽ và số ống trong mỗi dãy thẳng đứng là 7)

\Rightarrow Hệ số cấp nhiệt trung bình của chùm ống: $\alpha_{\text{ngưng}} = \epsilon_{tb} \alpha_1 = 0,72 \alpha_1$

Dùng phép lặp: chọn $t_{p1} = 59,0^\circ\text{C}$

Nhiệt độ trung bình của màng chất ngưng tụ: $t_m = \frac{1}{2} (t_{\text{ngưng}} + t_{w1}) = 62,4^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

- Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 982,0 \text{ kg/m}^3$
- Khối lượng riêng của methanol: $\rho_R = 753,5 \text{ kg/m}^3$

Nên khối lượng riêng hỗn hợp là

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_p}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_p}{\rho_N} = \frac{0,95}{753,5} + \frac{1 - 0,95}{982,0} = 1,31 \cdot 10^{-3}$$

$\Rightarrow \rho = 762,4 \text{ kg/m}^3$

- Độ nhớt của nước: $\mu_N = 4,496 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$
- Độ nhớt của methanol: $\mu_R = 3,424 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Nên: $\lg \mu = x_p \lg \mu_R + (1 - x_p) \lg \mu_N$

$$= 0,9144 \cdot \lg(3,424 \cdot 10^{-4}) + (1 - 0,9144) \cdot \lg(4,496 \cdot 10^{-4})$$

$$= -3,45$$

$\Rightarrow \mu = 3,50 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

- Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,661 \text{ W/mK}$
- Hệ số dẫn nhiệt của methanol: $\lambda_R = 0,205 \text{ W/mK}$

Nên: $\lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_p + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_p) - 0,72 \cdot \bar{x}_p \cdot (1 - \bar{x}_p) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,212 \text{ W/mK}$

- Nhiệt ngưng tụ của dòng hơi: $r = r_D = 2801100 \text{ J/kg}$

Nên: $\alpha_1 = 4295,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$\Rightarrow \alpha_{\text{ngưng}} = 3092,7,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Rightarrow q_{\text{ngưng}} = \alpha_{\text{ngưng}} (t_{\text{ngưng}} - t_{p1}) = \mathbf{21030,3 \text{ W/m}^2}$$

$$\Rightarrow q_t = q_{\text{ngưng}} = 21030,3 \text{ W/m}^2 \text{ (xem nhiệt tải mất mát là không đáng kể)}$$

$$\Rightarrow t_{p2} = t_{p1} - q_t \Sigma r_t = 46,35^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow Pr_{p2} = 3,90$$

$$\Rightarrow Nu_n = 161,5$$

$$\Rightarrow \alpha_n = 1700,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Rightarrow q_n = \alpha_n (t_{p2} - t_f) = \mathbf{20998,7 \text{ W/m}^2}$$

Kiểm tra sai số:

$$\varepsilon = \frac{|q_{\text{ngưng}} - q_n|}{q_{\text{ngưng}}} 100\% = 0,15\% < 5\% \text{ (thỏa)}$$

Kết luận: $t_{p1} = 59,0^\circ\text{C}$ và $t_{p2} = 46,3^\circ\text{C}$

3.4. Xác định hệ số truyền nhiệt:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{4295,4} + 5,565 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1700,2}} = 726,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Bề mặt truyền nhiệt:

Bề mặt truyền nhiệt được xác định theo phương trình truyền nhiệt:

$$F = \frac{Q_{nt}}{K \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{1102550 \cdot 1000}{3600 \cdot 726,0 \cdot 31,42} = 13,4 \text{ m}^2$$

5. Cấu tạo thiết bị:

Số ống truyền nhiệt: $n = 61$ (ống). Ống được bố trí theo hình lục giác đều.

$$\text{Chiều dài ống truyền nhiệt: } L = \frac{F}{n\pi \frac{d_n + d_{tr}}{2}} = 3,3 \text{ m} \Rightarrow \text{chọn } L = 4 \text{ m}$$

Số ống trên đường chéo: $b = 7$ ống

\Rightarrow Bước ống: $t = 48 \text{ mm} = 0,048 \text{ m}$

Áp dụng công thức (V.140), trang 49, [6]:

$$\Rightarrow \text{Đường kính trong của thiết bị: } D = t(b-1) + 4d_n = 0,44 \text{ m}$$

III. THIẾT BỊ LÀM NGUỘI SẢN PHẨM ĐỈNH :

Chọn thiết bị ngưng tụ vỏ – ống loại TH, đặt nằm ngang.

Ống truyền nhiệt được làm bằng thép X18H10T, kích thước ống 38 x 3:

- Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$

- Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$

- Đường kính trong: $d_{tr} = 0,032 \text{ m}$

Chọn

- Nước làm lạnh đi trong ống trong với nhiệt độ vào $t_v = 28^\circ\text{C}$ và nhiệt độ ra $t_R = 40^\circ\text{C}$.

- Sản phẩm đáy đi trong ống ngoài với nhiệt độ vào $t_{ps} = 65,8^\circ\text{C}$ và nhiệt độ ra $t_{pr} = 35^\circ\text{C}$.

1. Suất lượng nước làm lạnh cần dùng:

$$\text{Cân bằng nhiệt: } Q = G_p(h_{ps} - h_{pr}) = G_n(h_R - h_v)$$

Nhiệt dung riêng của nước ở $35^\circ\text{C} = 4,178 \text{ kJ/kg.K}$

Nhiệt dung riêng của methanol ở $35^\circ\text{C} = 2,645 \text{ kJ/kg.K}$

$$\text{Nên: } h_{WR} = (0,05 \cdot 4,178 + 0,95 \cdot 2,645) \cdot 35 = 95,26 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Enthalpy của nước ở } 28^\circ\text{C} = h_v = 117,3 \text{ kJ/kg}$$

Enthalpy của nước ở 40°C = $h_R = 167,6 \text{ kJ/kg}$

Lượng nhiệt trao đổi: $Q = G_W(h_{WS} - h_{WR}) = 8040,4 \text{ kJ/h}$

Suất lượng nước cần dùng: $G_n = \frac{Q}{h_R - h_V} = 159,9 \text{ kg/h}$

2. Hiệu số nhiệt độ trung bình:

Chọn kiểu truyền nhiệt ngược chiều, nên:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(65,8 - 40) - (35 - 28)}{\ln \frac{65,8 - 40}{35 - 28}} = 14,40 \text{ K}$$

3. Hệ số truyền nhiệt:

Hệ số truyền nhiệt K được tính theo công thức:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \Sigma r_l + \frac{1}{\alpha_w}}, \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Với:

- α_n : hệ số cấp nhiệt của dòng nước lạnh, $\text{W/m}^2.\text{K}$.
- α_w : hệ số cấp nhiệt của dòng sản phẩm đáy, $\text{W/m}^2.\text{K}$.
- Σr_l : nhiệt trở qua thành ống và lớp cáu.

3.1. Xác định hệ số cấp nhiệt của nước trong ống:

Kích thước của ống trong:

- Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ (mm)} = 0,038 \text{ m}$
- Bề dày ống: $\delta_l = 3 \text{ (mm)} = 0,003 \text{ m}$
- Đường kính trong: $d_{tr} = 0,032 \text{ m}$

Nhiệt độ trung bình của dòng nước trong ống: $t_f = \frac{1}{2} (t_V + t_R) = 34^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

- Khối lượng riêng của nước: $\rho_n = 994,34 \text{ kg/m}^3$
- Độ nhớt của nước: $\nu_n = 7,39.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_n = 0,624 \text{ W/mK}$
- Chuẩn số Prandtl: $Pr_n = 5,004$

Vận tốc nước đi trong ống:

$$\nu_n = \frac{4G_n}{3600\rho_n\pi d_{tr}^2} = \frac{4.159,9}{3600.994.\pi.0,032^2} = 0,056 \text{ m/s}$$

Chuẩn số Reynolds :

$$Re_n = \frac{\nu_n.d_{tr}}{\nu_n} = \frac{0,056.0,032}{7,39.10^{-7}} = 2424,9 < 10^4 : \text{ chế độ chảy quá độ}$$

Áp dụng công thức V.44, trang 16, [2] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$Nu_n = k_o.\mathcal{E}_1.Pr_n^{0,43}.\left(\frac{Pr_n}{Pr_{w2}}\right)^{0,25}$$

Trong đó: ε_1 – hệ số tính đến ảnh hưởng của hệ số cấp nhiệt theo tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d của ống. Tra bảng V.2, trang 15, [2]. Chọn $\varepsilon_1 = 1$

k_o – hệ số phụ thuộc Re , tra bảng trang 16, [2]. Chọn $k_o = 1$

Hệ số cấp nhiệt của nước trong ống: $\alpha_n = \frac{Nu_n \cdot \lambda_n}{d_{tr}}$

3.2. Nhiệt tải qua thành ống và lớp cấu:

$$q_t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\Sigma r_t}, \text{ W/m}^2$$

Trong đó:

- t_{p1} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với sản phẩm đáy (trong ống trong), °C
- t_{p2} : nhiệt độ của vách tiếp xúc với nước lạnh (ngoài ống trong), °C

$$\Sigma r_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} + r_1 + r_2$$

- Bề dày thành ống: $\delta_t = 0,003 \text{ m}$
 - Hệ số dẫn nhiệt của thép không gỉ: $\lambda_t = 16,3 \text{ W/mK}$
 - Nhiệt trở lớp bản trong ống: $r_1 = 1/5000 \text{ m}^2.\text{K/W}$
 - Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống: $r_2 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- Nên $\Sigma r_t = 5,565.10^{-4} \text{ m}^2.\text{K/W}$

3.3. Xác định hệ số cấp nhiệt của dòng sản phẩm đáy ngoài ống:

Kích thước của ống ngoài:

- Đường kính ngoài: $D_n = 57 \text{ mm} = 0,057 \text{ m}$
- Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$
- Đường kính trong: $D_{tr} = 0,051 \text{ m}$

Nhiệt độ trung bình của dòng sản phẩm đáy ngoài ống:

$$t_p = \frac{1}{2} (t_{ps} + t_{pr}) = 50,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tại nhiệt độ này thì:

- Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 987,9 \text{ kg/m}^3$
- Khối lượng riêng của methanol: $\rho_R = 764,6 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_p}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_p}{\rho_N} = \frac{0,95}{764,6} + \frac{1 - 0,95}{987,9} \Rightarrow \rho = 773,4 \text{ kg/m}^3$$

- Độ nhớt của nước: $\mu_N = 5,46.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$
- Độ nhớt của methanol: $\mu_R = 3,19.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_p \lg \mu_R + (1 - x_p) \lg \mu_N = 0,9144 \lg(3,19.10^{-4}) + (1 - 0,9144) \lg(5,46.10^{-4})$$

$$\Rightarrow \mu = 3,343.10^{-4} \text{ (N.s/m}^2\text{)}$$

- Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,647 \text{ W/mK}$
- Hệ số dẫn nhiệt của methanol: $\lambda_R = 0,207 \text{ W/mK}$

$$\text{Nên: } \lambda = \lambda_R \bar{x}_p + \lambda_N (1 - \bar{x}_p) - 0,72 \bar{x}_p (1 - \bar{x}_p) (\lambda_N - \lambda_R)$$

$$= 0,214 \text{ (W/mK)}$$

- Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 4178,2 \text{ J/kgK}$
- Nhiệt dung riêng của methanol: $c_A = 2716,8 \text{ J/kgK}$

Nên: $c = c_N \bar{x}_p + c_A \cdot (1 - \bar{x}_p) = 2789,8 \text{ J/kgK}$

Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [6]:

$$\text{Pr} = \frac{c\mu}{\lambda} = 4,365$$

Vận tốc của dòng sản phẩm đáy ngoài ống:

$$v = \frac{4G_p}{3600\rho\pi(D_{tr}^2 - d_n^2)} = \frac{4.83,57}{3600.773,4.\pi.(0,051^2 - 0,038^2)} = 0,0346 \text{ m/s}$$

Đường kính tương đương: $d_{td} = D_{tr} - d_n = 0,051 - 0,038 = 0,013 \text{ m}$

Chuẩn số Reynolds :

$$\text{Re} = \frac{vd_{td}\rho}{\mu} = \frac{0,0346.0,013.773,4}{3,343.10^{-4}} = 986,8 < 2300 : \text{chế độ chảy màng}$$

Áp dụng công thức (V.45), trang 17, [2] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$Nu_p = 0,015.\varepsilon_l.\text{Re}^{0,33}.Gr^{0,1}.\text{Pr}^{0,43}.\left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{p1}}\right)^{0,25}$$

Trong đó: ε_l – hệ số tính đến ảnh hưởng của hệ số cấp nhiệt theo tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d của ống.

Tra bảng V.2, trang 15, [2] \Rightarrow chọn $\varepsilon_l = 1$

Chuẩn số Grashof

$$Gr = \beta.\frac{g\rho^2 l^3 \Delta t}{\mu^2}$$

$$l = d_{td} = 0,013 \text{ m}$$

β = hệ số dẫn nở thể tích

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\beta_N = 4,514.10^{-4} \text{ 1/K}$

Hệ số dẫn nhiệt của methanol: $\beta_R = 1,322.10^{-4} \text{ 1/K}$

Δt = chênh lệch nhiệt độ giữa thành ống và dòng sản phẩm đáy

$$\Delta t = t_{p1} - t_p, ^\circ\text{C}$$

Hệ số cấp nhiệt của dòng sản phẩm đáy ngoài ống: $\alpha_p = \frac{Nu_p.\lambda}{d_{td}}$

Dùng phép lặp: chọn $t_{w1} = 43,3 ^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

▪ Độ nhớt của nước: $\mu_N = 6,167.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

▪ Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 4,322.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Nên:

$$\lg\mu_{p1} = x_p \lg\mu_R + (1 - x_p) \lg\mu_N = 0,9144.\lg(4,322.10^{-4}) + (1 - 0,9144).\lg(6,167.10^{-4})$$

$$\Rightarrow \mu_{w1} = 4,50.10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

▪ Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,639 \text{ W/mK}$

▪ Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,208 \text{ W/mK}$

Nên: $\lambda_{p1} = \lambda_R.\bar{x}_D + \lambda_N(1 - \bar{x}_D) - 0,72x_p.(1 - x_p)(\lambda_N - \lambda_R) = 0,214 \text{ W/mK}$

▪ Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 4178,0 \text{ J/kgK}$

▪ Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 2865,0 \text{ J/kgK}$

Nên: $c_{p1} = c_R \bar{x}_p + c_N \cdot (1 - \bar{x}_p) = 2759,5 \text{ J/kgK}$

Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: $Pr_{p1} = \frac{c_{p1} \mu_{p1}}{\lambda_{p1}} = 5,73$

$\Rightarrow Gr = 1020040,5$

Nên $Nu_p = 10,45$

$\Rightarrow \alpha_p = 171,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Rightarrow q_p = \alpha_p (t_p - t_{p1}) = \mathbf{1217,98 \text{ W/m}^2}$

$\Rightarrow q_t = q_p = 1217,98 \text{ W/m}^2$ (xem nhiệt tải mất mát là không đáng kể)

$\Rightarrow t_{p2} = t_{p1} - q_t \Sigma r_t = 42,622 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Rightarrow Pr_{p2} = 5,796$

$\Rightarrow Nu_n = 7,32$

$\Rightarrow \alpha_n = 142,78 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Rightarrow q_n = \alpha_n (t_{p2} - t_f) = \mathbf{1231,2 \text{ W/m}^2}$

Kiểm tra sai số:

$$\varepsilon = \frac{|q_w - q_n|}{q_w} 100\% = 1,085\% < 5\% \text{ (thỏa)}$$

Kết luận: $t_{w1} = 43,3^\circ\text{C}$ và $t_{p2} = 42,6^\circ\text{C}$

3.4. Xác định hệ số truyền nhiệt:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{171,8} + 5,565 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{142,78}} = 74,73 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Bề mặt truyền nhiệt:

Bề mặt truyền nhiệt được xác định theo phương trình truyền nhiệt:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{8040,4 \cdot 1000}{3600 \cdot 74,73 \cdot 14,40} = 2,075 \text{ m}^2$$

5. Cấu tạo thiết bị:

Chọn số ống truyền nhiệt: $n = 19$ ống. Ống được bố trí theo hình lục giác đều.

- Chiều dài ống truyền nhiệt: $L = \frac{F}{n\pi \frac{d_n + d_t}{2}} = 0,966 \text{ m} \Rightarrow \text{chọn } L = 1 \text{ m}$

Tra bảng V.II, trang 48, [2] \Rightarrow Số ống trên đường chéo: $b = 5$ ống

- Bước ống: $t = 1,2d_n = 0,046 \text{ m}$

- Đường kính trong của thiết bị (Áp dụng công thức (V.140), trang 49, [2])

$$D = t \cdot (b-1) + 4d_n = 0,336 \text{ m}$$

IV. Thiết bị trao đổi nhiệt giữa sản phẩm đáy và nhập liệu:

Chọn thiết bị ngưng tụ vỏ – ống, đặt ngang

Ống truyền nhiệt được làm bằng thép hợp kim X18H10T, kích thước ống 38 x 3:

Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$

Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$

Đường kính trong: $d_{tr} = 0,032 \text{ m}$

Nhiệt trở lớp bản trong ống: $r_1 = 1/5000 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống: $r_2 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Chọn:

Nhập liệu đi ngoài ống với nhiệt độ vào $t_{FV} = 28^\circ\text{C}$ và ra ở nhiệt độ

Sản phẩm cháy đi trong ống với nhiệt độ $t_v = 98,5^\circ\text{C}$, $t_r = 65^\circ\text{C}$.

1. Nhiệt độ ra của dòng nhập liệu :

Cân bằng nhiệt: $Q = G_F \cdot c_F \cdot (t_{Fr} - t_{Fv}) = G_W \cdot c_W \cdot (t_{Wv} - t_{Wr})$

Ở nhiệt độ trung bình $t = 81,75^\circ\text{C}$, thì:

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 41,95 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 28,32 \text{ J/kgK}$

Nên: $c_W = c_R \bar{x}_W + c_N \cdot (1 - \bar{x}_W) = 41,75 \text{ J/kgK}$

$$\Rightarrow Q = 827,141,75 \cdot (98,5 - 65) = 115,7 \text{ kW}$$

Ở 28°C , thì:

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 4181,48 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 2610 \text{ J/kgK}$

Nên: $c_F = 3596,89 \text{ J/kgK}$

$$\Rightarrow t_{Fr} = \frac{Q}{G_F \cdot c_F} + t_{Fv} = 60,0^\circ\text{C}$$

2. Hiệu số nhiệt độ trung bình :

Chọn kiểu truyền nhiệt ngược chiều, nên:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(98,5 - 60,0) - (65,0 - 28,0)}{\ln \frac{98,5 - 60,0}{65,0 - 28,0}} = 37,75 \text{ K}$$

3. Hệ số truyền nhiệt:

Hệ số truyền nhiệt K được tính theo công thức:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \Sigma r_t + \frac{1}{\alpha_{ngưng}}}, \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Với:

α_n : hệ số cấp nhiệt của dòng nước lạnh, $\text{W/m}^2.\text{K}$

$\alpha_{ngưng}$: hệ số cấp nhiệt của dòng hơi ngưng tụ, $\text{W/m}^2.\text{K}$

Σr_t : nhiệt trở qua thành ống và lớp cấu.

3.1. Xác định hệ số cấp nhiệt của sản phẩm cháy đi trong ống :

Nhiệt độ trung bình của dòng nước trong ống: $t_f = \frac{1}{2} (t_v + t_r) = 81,75^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

Khối lượng riêng của nước: $\rho_n = 970,2 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng riêng của rượu: $\rho_R = 731,3 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_W}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_W}{\rho_N} = \frac{0,0085}{731,3} + \frac{1 - 0,0085}{970,2}$$

$$\Rightarrow \rho = 967,5 \text{ kg/m}^3$$

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 3,348 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 2,552 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_W \lg \mu_R + (1 - x_W) \lg \mu_N = 0,015 \cdot \lg(2,552 \cdot 10^{-4}) + (1 - 0,015) \cdot \lg(3,348 \cdot 10^{-4})$$

$$\Rightarrow \mu = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,679 \text{ W/mK}$

Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,200 \text{ W/mK}$

$$\text{Nên: } \lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_W + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_W) - 0,72 \cdot \bar{x}_W \cdot (1 - \bar{x}_W) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,675 \text{ (W/mK) (công}$$

thức 1.37, trang 124, [1])

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 41,95 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 28,32 \text{ J/kgK}$

$$\text{Nên: } c_W = c_R \bar{x}_W + c_N \cdot (1 - \bar{x}_W) = 41,75 \text{ J/kgK}$$

$$\text{Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: } Pr = \frac{c_W \mu}{\lambda} = 2,03$$

Vận tốc thực tế của sản phẩm đáy trong ống:

$$v_w = \frac{4G_W}{3600 \rho_W n \pi d_{tr}^2} = \frac{4.827,1}{3600 \cdot 964,18 \cdot 19 \cdot \pi \cdot 0,032^2} = 0,016 \text{ m/s}$$

Chuẩn số Reynolds :

$$Re_w = \frac{v_w \cdot d_{tr} \cdot \rho_W}{\mu_W} = \frac{0,016 \cdot 0,032 \cdot 964,18}{3,27 \cdot 10^{-4}} = 1470,0 < 2300 : \text{ chế độ chảy tầng}$$

Áp dụng công thức (1.80), trang 31, [5] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$Nu_w = 0,15 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_n^{0,33} \cdot Pr_n^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_n}{Pr_{w2}} \right)^{0,25}$$

Trong đó: ε_1 – hệ số tính đến ảnh hưởng của hệ số cấp nhiệt theo tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d của ống.

Tra bảng 1.2, trang 31, [5] \Rightarrow chọn $\varepsilon_1 = 1$

$$\text{Chọn } \Delta t_2 = 8,25^\circ\text{C} \Rightarrow t_{w2} = 81,75 + 8,25 = 90^\circ\text{C}$$

Tại nhiệt độ này:

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 3,276 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_W \lg \mu_R + (1 - x_W) \lg \mu_N = 0,015 \cdot \lg(2,3 \cdot 10^{-4}) + (1 - 0,015) \cdot \lg(3,276 \cdot 10^{-4})$$

$$\Rightarrow \mu = 3,27 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,679 \text{ W/mK}$

Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,2008 \text{ W/mK}$

Nên: $\lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_W + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_W) - 0,72 \cdot \bar{x}_W \cdot (1 - \bar{x}_W) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,675 \text{ (W/mK)}$ (công thức 1.37, trang 124, [1])

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 42,05 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 28,99 \text{ J/kgK}$

Nên: $c = c_R \cdot x_W + c_N \cdot (1 - x_W) = 41,93 \text{ J/kgK}$

Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: $Pr_{w2} = \frac{c\mu}{\lambda} = 2,55$

$$Gr = \frac{g \cdot d_o^3 \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\mu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{90 + 273} = 2,755 \cdot 10^{-3} \text{ (K}^{-1}\text{)}$$

$$\Rightarrow Gr = \frac{9,81 \cdot 0,032^3 \cdot 964,18^2 \cdot 2,755 \cdot 10^{-3} \cdot 8,25}{(0,327 \cdot 10^{-3})^2} = 61,59 \cdot 10^6$$

$$\Rightarrow Nu_W = 12,19$$

Hệ số cấp nhiệt của sản phẩm đẩy đi trong ống trong:

$$\alpha_W = \frac{Nu_W \cdot \lambda_W}{d_{ir}} = \frac{12,19 \cdot 0,675}{0,032} = 257,20 \text{ W/m}^2\text{độ}$$

$$\Rightarrow q_W = \alpha_W \cdot \Delta t_2 = 257,2 \cdot 8,25 = 2121,6 \text{ W/m}^2$$

3.3. Xác định hệ số cấp nhiệt của dòng nhập liệu ngoài ống :

Nhiệt độ trung bình của dòng nhập liệu: $t_f = \frac{1}{2} (t_V + t_R) = 44,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 990,2 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng riêng của rượu: $\rho_R = 768,8 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_F}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_F}{\rho_N} = \frac{0,1}{768,8} + \frac{1 - 0,1}{990,2} = 1,02 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 962,5 \text{ kg/m}^3$$

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 5,68 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_F \lg \mu_R + (1 - x_F) \lg \mu_N \\ \Rightarrow \mu = 5,22 \cdot 10^{-4} \text{ (N.s/m}^2\text{)}$$

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,650 \text{ W/mK}$

Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,212 \text{ W/mK}$

Nên: $\lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_W + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_W) - 0,72 \cdot \bar{x}_W \cdot (1 - \bar{x}_W) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,482 \text{ W/mK}$ (công thức

1.37, trang 124, [1])

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 41,78 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 26,86 \text{ J/kgK}$

Nên: $c = c_R \cdot x_F + c_N \cdot (1 - x_F) = 40,90 \text{ J/kgK}$

Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: $Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = 4,43$

Đường kính tương đương của khoảng không ngoài ống:

$$d_{td} = \frac{D_i^2 - n.d_o^2}{D_i + n.d_o} = \frac{0,7^2 - 127.0,032^2}{0,7 + 127.0,032} = 0,076m$$

Vận tốc thực tế của dòng nhập liệu đi ngoài ống:

$$v_F = \frac{4G_F}{3600\rho\pi(D_i^2 - n.d_o^2)} = \frac{4.1000}{3600.962,5.\pi.(0,7^2 - 127.0,032^2)} = 3,57.10^{-3} \text{ m/s}$$

Chuẩn số Reynolds :

$$Re_F = \frac{v_F.d_{td}.\rho_F}{\mu_F} = \frac{3,57.10^{-3}.0,076.962,5}{5,22.10^{-4}} = 710,9 < 2300 : \text{ chế độ chảy tầng.}$$

Áp dụng công thức (V.56), trang 20, [2] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$Nu_D = 1,16.d_{td}^{0,6} . Re_D^{0,6} Pr_D^{0,33}$$

$$= 1,16.0,108^{0,6} . 710,9^{0,6} . 4,43^{0,33} = 25,64$$

Chọn $\Delta t_1 = 18^\circ\text{C}$

Hệ số cấp nhiệt của dòng nhập liệu ngoài ống:

$$\alpha_F = \frac{Nu_F . \lambda_F}{d_{td}} = \frac{25,64.0,482}{0,108} = 114,43 \text{ W/m}^2\text{độ}$$

$$\Rightarrow q_F = \alpha_F . \Delta t_1 = 112,75.18 = 2059,7 \text{ W/m}^2$$

Kiểm tra sai số:

$$\varepsilon = \frac{|q_w - q_F|}{q_w} 100\% = 2,92\% < 5\% \text{ (thỏa)}$$

3.4. Xác định hệ số truyền nhiệt:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{257,20} + 5,565.10^{-4} + \frac{1}{114,43}} = 75,85 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Bề mặt truyền nhiệt:

Bề mặt truyền nhiệt được xác định theo phương trình truyền nhiệt:

$$F = \frac{Q}{K.\Delta t_{\log}} = \frac{115,7.1000}{75,85.37,75} = 40,41 \text{ m}^2$$

5. Cấu tạo thiết bị:

Số ống truyền nhiệt: $n = 127$ ống. Ống được bố trí theo hình lục giác đều.

$$\text{Chiều dài ống truyền nhiệt: } L = \frac{F}{n\pi \frac{d_n + d_r}{2}} = 2,51 \text{ (m)} \Rightarrow \text{chọn } L = 2,5 \text{ m}$$

Số ống trên đường chéo: $b = 13$ ống

Bước ống: $t = 48 \text{ (mm)} = 0,048 \text{ m}$

Áp dụng công thức (V.140), trang 49, [2]:

$$\Rightarrow \text{Đường kính trong của thiết bị: } D = t(b-1) + 4d_n = 0,7 \text{ m.}$$

V. Thiết bị đun sôi dòng nhập liệu:

Chọn thiết bị ngưng tụ vỏ – ống, đặt ngang.

Ống truyền nhiệt được làm bằng thép hợp kim X18H10T, kích thước ống 38 x 3:

Đường kính ngoài: $d_n = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$

Bề dày ống: $\delta_t = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$

Đường kính trong: $d_{tr} = 0,032 \text{ m}$

Nhiệt trở lớp bẩn trong ống: $r_1 = 1/5000 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống: $r_2 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Chọn:

Nhập liệu đi trong ống với nhiệt độ vào $t_v = 60,0^\circ\text{C}$ và nhiệt độ ra $t_R = 68,5^\circ\text{C}$.

Dòng hơi ngưng tụ đi ngoài ống với nhiệt độ ngưng tụ $t_{ngưng} = 126,25^\circ\text{C}$, có áp suất 2at, ẩn nhiệt hóa hơi $r = 2189500 \text{ J/kg}$.

1. Lượng hơi nước cần dùng :

Cân bằng nhiệt: $Q = G_F \cdot c_F \cdot (t_r - t_v) = G_n \cdot r_n$

Ở nhiệt độ trung bình $t_{tb} = 64,25^\circ\text{C}$ thì:

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 41,83 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 28,20 \text{ J/kgK}$

Nên: $c_F = c_R \cdot x_F + c_N \cdot (1 - x_F) = 41,02 \text{ J/kgK}$

$\Rightarrow Q = 1000 \cdot 41,02 \cdot (68,5 - 60) = 34,87 \text{ kW}$

$\Rightarrow G_n = 15,93 \text{ (kg/h)}$

2. Hiệu số nhiệt độ trung bình :

Chọn kiểu truyền nhiệt ngược chiều, nên:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(126,25 - 60,0) - (126,25 - 68,5)}{\ln \frac{126,25 - 60,0}{126,25 - 68,5}} = 62,15 \text{ K}$$

3. Hệ số truyền nhiệt:

Hệ số truyền nhiệt K được tính theo công thức:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum r_i + \frac{1}{\alpha_{ngưng}}}, \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Với:

α_n : hệ số cấp nhiệt của dòng nước lạnh, $\text{W/m}^2.\text{K}$

$\alpha_{ngưng}$: hệ số cấp nhiệt của dòng hơi ngưng tụ, $\text{W/m}^2.\text{K}$

$\sum r_i$: nhiệt trở qua thành ống và lớp cấu.

▪ Bề dày thành ống: $\delta_t = 0,003 \text{ m}$

▪ Hệ số dẫn nhiệt của thép không gỉ: $\lambda_t = 16,3 \text{ W/mK}$

▪ Nhiệt trở lớp cấu trong ống: $r_1 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$

▪ Nhiệt trở lớp cấu ngoài ống: $r_2 = 1/5800 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Nên: $\sum r_i = 5,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.\text{K/W}$

3.1. Xác định hệ số cấp nhiệt của dòng nhập liệu đi trong ống :

Nhiệt độ trung bình của dòng nhập liệu trong ống: $t_f = \frac{1}{2} (t_v + t_R) = 64,25^\circ\text{C}$

Tại nhiệt độ này thì:

Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 979,8 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng riêng của rượu: $\rho_R = 746,2 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho} = \frac{\bar{x}_F}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_F}{\rho_N} = \frac{0,1}{746,2} + \frac{1 - 0,1}{979,8} \Rightarrow \rho = 950,06 \text{ kg/m}^3$$

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 3,88 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 3,12 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_F \lg \mu_R + (1 - x_F) \lg \mu_N \\ \Rightarrow \mu = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,661 \text{ W/mK}$

Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,105 \text{ W/mK}$

$$\text{Nên: } \lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_F + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_F) - 0,72 \cdot \bar{x}_F \cdot (1 - \bar{x}_F) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,569 \text{ W/mK (công thức}$$

1.37, trang 124, [1])

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 41,83 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 28,20 \text{ J/kgK}$

$$\text{Nên: } c = c_R \cdot x_F + c_N \cdot (1 - x_F) = 40,475 \text{ J/kgK}$$

$$\text{Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: } Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = 2,60$$

Vận tốc thực tế của dòng nhập liệu trong ống:

$$v_F = \frac{4G_F}{3600\rho_F n \pi d_{tr}^2} = \frac{4 \cdot 1000}{3600 \cdot 950,06 \cdot 127 \cdot \pi \cdot 0,032^2} = 0,003 \text{ m/s}$$

Chuẩn số Reynolds :

$$Re_F = \frac{v_F \cdot d_{tr} \cdot \rho_F}{\mu_F} = \frac{0,003 \cdot 0,032 \cdot 950,06}{3,65 \cdot 10^{-4}} = 250,0 < 2300 : \text{ chế độ chảy tầng}$$

Áp dụng công thức (1.80), trang 31, [5] \Rightarrow công thức xác định chuẩn số Nusselt:

$$Nu_w = 0,15 \cdot \varepsilon_l \cdot Re_n^{0,33} \cdot Pr_n^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_n}{Pr_{w2}} \right)^{0,25}$$

Trong đó: ε_l – hệ số tính đến ảnh hưởng của hệ số cấp nhiệt theo tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d của ống.

Tra bảng 1.2, trang 31, [5] \Rightarrow chọn $\varepsilon_l = 1$

$$\text{Chọn } \Delta t_2 = 20^\circ\text{C} \Rightarrow t_{w2} = 84,25^\circ\text{C}$$

Tại nhiệt độ này:

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\text{Nên: } \lg \mu = x_F \lg \mu_R + (1 - x_F) \lg \mu_N \\ \Rightarrow \mu = 2,98 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Hệ số dẫn nhiệt của nước: $\lambda_N = 0,677 \text{ W/mK}$

Hệ số dẫn nhiệt của rượu: $\lambda_R = 0,178 \text{ W/mK}$

Nên: $\lambda = \lambda_R \cdot \bar{x}_F + \lambda_N \cdot (1 - \bar{x}_F) - 0,72 \cdot \bar{x}_F \cdot (1 - \bar{x}_F) \cdot (\lambda_N - \lambda_R) = 0,595 \text{ W/mK}$ (công thức 1.37, trang 124, [1])

Nhiệt dung riêng của nước: $c_N = 4201,8 \text{ J/kgK}$

Nhiệt dung riêng của rượu: $c_R = 2922,0 \text{ J/kgK}$

Nên: $c = c_R \cdot x_F + c_N \cdot (1 - x_F) = 4126,5 \text{ J/kgK}$

Áp dụng công thức (V.35), trang 12, [2]: $Pr_{w2} = \frac{c\mu}{\lambda} = 2,067$

$$Gr = \frac{g \cdot d_o^3 \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\mu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{64,25 + 273} = 2,96 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\Rightarrow Gr = \frac{9,81 \cdot 0,032^3 \cdot 950,06^2 \cdot 2,96 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{(0,298 \cdot 10^{-3})^2} = 193,4 \cdot 10^6$$

$$\Rightarrow Nu_F = 11,4$$

Hệ số cấp nhiệt của dòng nhập liệu đi trong ống trong:

$$\alpha_F = \frac{Nu_F \cdot \lambda_F}{d_{tr}} = \frac{11,4 \cdot 0,595}{0,032} = 212,0 \text{ W/m}^2\text{độ}$$

$$\Rightarrow q_F = \alpha_F \cdot \Delta t_2 = 212,0 \cdot 20 = 4240,0 \text{ W/m}^2$$

3.3. Xác định hệ số cấp nhiệt của hơi ngưng tụ ngoài ống :

Áp dụng công thức (1.110), trang 38, [5] \Rightarrow Đối với ống đơn chiếc nằm ngang thì:

$$\alpha_1 = 0,7254 \sqrt{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \lambda^3}{\mu \cdot (t_{ngưng} - t_{w1}) \cdot d_n}}$$

Tra bảng V.II, trang 48, [2] \Rightarrow với số ống $n = 127$ thì số ống trên đường chéo của hình 6 cạnh là: $b = 13$

Tra hình V.18, trang 19, [4] \Rightarrow hệ số phụ thuộc vào cách bố trí ống và số ống trong mỗi dãy thẳng đứng là $\epsilon_{tb} = 1,1$

\Rightarrow Hệ số cấp nhiệt trung bình của chùm ống: $\alpha_{ngưng} = \epsilon_{tb} \alpha_1 = 1,1 \alpha_1$

Chọn $\Delta t_1 = 0,2^\circ\text{C} \Rightarrow t_{w1} = 126,05^\circ\text{C}$

Tra các thông số của hơi ngưng tụ:

Khối lượng riêng của hơi: $\rho_N = 939,16 \text{ kg/m}^3$

Độ nhớt của hơi: $\mu_N = 2,28 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Hệ số dẫn nhiệt của hơi: $\lambda_N = 0,686 \text{ W/mK}$

$$\Rightarrow \alpha_1 = 19886,13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Rightarrow \alpha_n = 21874,74 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Rightarrow q_n = \alpha_n (t_n - t_{w1}) = 4374,94 \text{ W}$$

Kiểm tra sai số:

$$\epsilon = \frac{|q_n - q_F|}{q_n} 100\% = 3,08\% < 5\% \text{ (thỏa)}$$

3.4. Xác định hệ số truyền nhiệt:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{212,0} + 5,565 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{21874,74}} = 188,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Bề mặt truyền nhiệt:

Bề mặt truyền nhiệt được xác định theo phương trình truyền nhiệt:

$$F = \frac{Q_m}{K \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{15,93 \cdot 1000}{188,0 \cdot 62,15} = 1,36 \text{ m}^2$$

5. Cấu tạo thiết bị:

Số ống truyền nhiệt: $n = 127$ ống. Ống được bố trí theo hình lục giác đều.

Chiều dài ống truyền nhiệt: $L = \frac{F}{n\pi \frac{d_n + d_r}{2}} = 0,09 \text{ (m)} \Rightarrow \text{chọn } L = 0,1 \text{ m}$

Số ống trên đường chéo: $b = 13$ ống

Tra bảng trang 21, [3] \Rightarrow Bước ống: $t = 48 \text{ mm} = 0,048 \text{ m}$

Áp dụng công thức (V.140), trang 49, [2]:

\Rightarrow Đường kính trong của thiết bị: $D = t(b-1) + 4d_n = 0,7 \text{ m}$.

VI. Bồn cao vị:

1. Tổn thất đường ống dẫn:

Chọn ống dẫn có đường kính trong là $d_{tr} = 80 \text{ mm}$

Tra bảng II.15, trang 381, [1] \Rightarrow Độ nhám của ống: $\varepsilon = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$

Tổn thất đường ống dẫn:

$$h_1 = \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum \xi_1 \right) \cdot \frac{v_F^2}{2g} \quad \text{m}$$

Trong đó:

λ_1 : hệ số ma sát trong đường ống.

l_1 : chiều dài đường ống dẫn, chọn $l_1 = 30 \text{ m}$

d_1 : đường kính ống dẫn, $d_1 = d_{tr} = 0,08 \text{ m}$

$\sum \xi_1$: tổng hệ số tổn thất cục bộ.

v_F : vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn

1.1. Xác định vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn :

Các tính chất lý học của dòng nhập liệu được tra ở nhiệt độ trung bình:

$$t_F = \frac{t_{FV} + t_{FS}}{2} = \frac{28 + 65,8}{2} = 46,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tại nhiệt độ này thì:

Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 989,2 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng riêng của rượu: $\rho_R = 768,4 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Nên: } \frac{1}{\rho_F} = \frac{\bar{x}_F}{\rho_R} + \frac{1-\bar{x}_F}{\rho_N} = \frac{0,1}{768,4} + \frac{1-0,1}{989,2} \Rightarrow \rho_F = 961,6 \text{ kg/m}^3$$

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 5,15 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Nên: } \lg \mu_F &= x_F \lg \mu_N + (1 - x_F) \lg \mu_R \\ &\Rightarrow \mu_F = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2 \end{aligned}$$

Vận tốc của dòng nhập liệu đi trong ống:

$$v_F = \frac{4G_F}{3600 \rho_F \pi d_{tr}^2} = \frac{4 \cdot 1000}{3600 \cdot 961,6 \cdot \pi \cdot 0,08^2} = 0,057 \text{ m/s}$$

1.2. Xác định hệ số ma sát trong đường ống :

Chuẩn số Reynolds :

$$Re_F = \frac{v_F d_{tr} \rho_F}{\mu_F} = \frac{0,057 \cdot 0,08 \cdot 961,6}{4,65 \cdot 10^{-4}} = 9429,9 > 4000 : \text{ chế độ chảy rối}$$

Chuẩn số Reynolds tới hạn: $Re_{gh} = 6(d_1/\epsilon)^{8/7} = 5648,513$

Chuẩn số Reynolds khi bắt đầu xuất hiện vùng nhám:

$$Re_n = 220 \cdot (d_1/\epsilon)^{9/8} = 186097,342$$

Vì $Re_{gh} < Re_F < Re_n \Rightarrow$ chế độ chảy rối ứng với khu vực quá độ.

$$\text{Áp dụng công thức (II.64), trang 379, [1]: } \lambda_1 = 0,1 \left(1,46 \cdot \frac{\epsilon}{d_1} + \frac{100}{Re_F} \right)^{0,25} = 0,035$$

1.3. Xác định tổng hệ số tổn thất cục bộ :

Chỗ uốn cong :

Tra bảng II.16, trang 382, [1]:

Chọn dạng ống uốn cong 90° có bán kính R với $R/d = 2$ thì $\xi_{u1} \text{ (1 chỗ)} = 0,15$.

Đường ống có 6 chỗ uốn $\Rightarrow \xi_{u1} = 0,15 \cdot 6 = 0,9$

Van :

Chọn van cầu với độ mở hoàn toàn thì $\xi_{van} \text{ (1 cái)} = 10$.

Đường ống có 2 van cầu $\Rightarrow \xi_{van} = 10 \cdot 2 = 20$

Lưu lượng kế : $\xi_{ll} = 0$ (coi như không đáng kể).

Vào thấp : $\xi_{thấp} = 1$

Tại miệng ra của bồn cao vị : Tra bảng 10, trang 385, [1]: $\xi = 11$

Nên: $\sum \xi_1 = 33,05$

$$\text{Vậy: } h_1 = \left(0,035 \cdot \frac{30}{0,08} + 33,05 \right) \cdot \frac{0,057^2}{2 \cdot 9,81} = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ (m)}$$

2. Tổn thất đường ống dẫn trong thiết bị trao đổi nhiệt giữa dòng nhập liệu và sản phẩm đáy:

$$h_2 = \left(\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \Sigma \xi_2 \right) \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{m}$$

Trong đó:

λ_2 : hệ số ma sát trong đường ống.

l_2 : chiều dài đường ống dẫn, $l_2 = 2,5$ m

d_2 : đường kính ống dẫn, $d_2 = d_{tr} = 0,032$ m

$\Sigma \xi_2$: tổng hệ số tổn thất cục bộ.

v_2 : vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn

2.1. Vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn : $v_2 = 3,57.10^{-3}$ m/s

2.2. Xác định hệ số ma sát trong đường ống :

Chuẩn số Reynolds : $Re_2 = 710,9 < 2300$: chế độ chảy tầng.

Độ nhám: $\varepsilon = 0,0002$

Áp dụng công thức (II.64), trang 379, [1]: $\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{710,9} = 0,09$

2.3. Xác định tổng hệ số tổn thất cục bộ :

Đột thu :

Tra bảng II.16, trang 382, [1]: Khi $\frac{F_o}{F_1} = \frac{0,032^2}{0,08^2} = 0,160$ thì $\xi_{\text{đột thu 2 (1chỗ)}} = 0,458$

Có 1 chỗ đột thu $\Rightarrow \xi_{\text{đột thu 1}} = 0,458$

Đột mở :

Tra bảng II.16, trang 382, [1]: Khi $\frac{F_o}{F_1} = \frac{0,032^2}{0,08^2} = 0,160$ thì $\xi_{\text{đột mở 2 (1chỗ)}} = 0,708$

Có 1 chỗ đột mở $\Rightarrow \xi_{\text{đột mở 2}} = 0,708$

Nên: $\Sigma \xi_2 = \xi_{\text{đột thu 2}} + \xi_{\text{đột mở 2}} = 1,166$

Vậy: $h_2 = 127 \cdot \left(0,09 \cdot \frac{2,5}{0,032} + 1,166 \right) \cdot \frac{(3,57.10^{-3})^2}{2 \cdot 9,81} = 0,68.10^{-3}$ m

3. Tổn thất đường ống dẫn trong thiết bị đun sôi dòng nhập liệu:

$$h_3 = \left(\lambda_3 \frac{l_3}{d_3} + \Sigma \xi_3 \right) \cdot \frac{v_3^2}{2g} \quad ,\text{m}$$

Trong đó:

λ_3 : hệ số ma sát trong đường ống.

l_3 : chiều dài đường ống dẫn, $l_3 = 0,5$ m.

d_3 : đường kính ống dẫn, $d_3 = d_{tr} = 0,032$ m.

$\Sigma \xi_3$: tổng hệ số tổn thất cục bộ.

v_3 : vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn

3.1. Vận tốc dòng nhập liệu trong ống dẫn : $v_2 = 0,003$ m/s

3.2. Xác định hệ số ma sát trong đường ống :

Chuẩn số Reynolds : $Re_2 = 250 < 2300$: chế độ chảy tầng

Độ nhám: $\epsilon = 0,0002$

Áp dụng công thức (II.64), trang 379, [1]: $\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{250} = 0,256$

3.3. Xác định tổng hệ số tổn thất cục bộ :

Đột thu :

Tra bảng II.16, trang 382, [1]: Khi $\frac{F_o}{F_1} = \frac{0,032^2}{0,08^2} = 0,160$ thì $\xi_{\text{đột thu 3 (1 chỗ)}} = 0,458$

Có 1 chỗ đột thu $\Rightarrow \xi_{\text{đột thu 3}} = 0,458$

Đột mở :

Tra bảng II.16, trang 382, [1]: Khi $\frac{F_o}{F_1} = \frac{0,032^2}{0,08^2} = 0,160$ thì $\xi_{\text{đột mở 3 (1 chỗ)}} = 0,708$

Có 1 chỗ đột mở $\Rightarrow \xi_{\text{đột mở 3}} = 0,708$

Nên: $\sum \xi_3 = \xi_{\text{đột thu 3}} + \xi_{\text{đột mở 3}} = 1,166$

Vậy: $h_3 = 127 \cdot \left(0,256 \cdot \frac{0,5}{0,032} + 1,166 \right) \cdot \frac{0,003^2}{2 \cdot 9,81} = 0,30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

4. Chiều cao bồn cao vị:

Chọn :

Mặt cắt (1-1) là mặt thoát chất lỏng trong bồn cao vị.

Mặt cắt (2-2) là mặt cắt tại vị trí nhập liệu ở thấp.

Áp dụng phương trình Bernoulli cho (1-1) và (2-2):

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_{f1-2}$$

$$\Leftrightarrow z_1 = z_2 + \frac{P_2 - P_1}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \sum h_{f1-2}$$

Trong đó:

z_1 : độ cao mặt thoát (1-1) so với mặt đất, hay xem như là chiều cao bồn cao vị $H_{cv} = z_1$.

z_2 : độ cao mặt thoát (2-2) so với mặt đất, hay xem như là chiều cao từ mặt đất đến vị trí nhập liệu:

$$z_2 = h_{\text{chân đờ}} + h_{\text{đáy}} + (n_{\text{tLC}} - 1) \cdot \Delta h$$

$$= 0,105 + 0,02 + (12 - 1) \cdot 0,25 = 2,875 \text{ m}$$

P_1 : áp suất tại mặt thoát (1-1), chọn $P_1 = 1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

P_2 : áp suất tại mặt thoát (2-2)

Xem $\Delta P = P_2 - P_1 = n_{\text{tLL}} \cdot \Delta P_L = 9 \cdot 286,27 = 2576,4 \text{ N/m}^2$

v_1 : vận tốc tại mặt thoát (1-1), xem $v_1 = 0 \text{ m/s}$

v_2 : vận tốc tại vị trí nhập liệu, $v_2 = v_F = 0,057 \text{ m/s}$

$\sum h_{f1-2}$: tổng tổn thất trong ống từ (1-1) đến (2-2):

$$\sum h_{f1-2} = h_1 + h_2 + h_3 = 8,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Vậy: Chiều cao bồn cao vị: $H_{cv} = z_2 + \frac{P_2 - P_1}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \sum h_{f1-2}$

$$= 2,875 + \frac{2576,4}{9,81 \cdot 961,6} + \frac{0,057^2 - 0}{2 \cdot 9,81} + 8,63 \cdot 10^{-3}$$

$$= 3,16 \text{ m}$$

Chọn $H_{cv} = 5 \text{ m}$

VII. Bơm:

1. Năng suất:

Nhiệt độ dòng nhập liệu là $t_F = 28^\circ\text{C}$.

Tại nhiệt độ này thì:

Khối lượng riêng của nước: $\rho_N = 996,3 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng riêng của rượu: $\rho_R = 784,8 \text{ kg/m}^3$

Nên: $\frac{1}{\rho_F} = \frac{\bar{x}_F}{\rho_R} + \frac{1 - \bar{x}_F}{\rho_N} = \frac{0,1}{784,8} + \frac{1 - 0,1}{996,3} \Rightarrow \rho_F = 970,2 \text{ kg/m}^3$

Độ nhớt của nước: $\mu_N = 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$

Độ nhớt của rượu: $\mu_R = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$

Nên: $\lg \mu_F = x_F \cdot \lg \mu_N + (1 - x_F) \cdot \lg \mu_R$

$$\Rightarrow \mu_F = 7,35 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

Suất lượng thể tích của dòng nhập liệu đi trong ống:

$$Q_F = \frac{G_F}{\rho_F} = \frac{1000}{970,2} = 1,03 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vậy: chọn bơm có năng suất $Q_b = 2 \text{ m}^3/\text{h}$

2. Cột áp:

Chọn :

Mặt cắt (1-1) là mặt thoát chất lỏng trong bồn chứa nguyên liệu.

Mặt cắt (2-2) là mặt thoát chất lỏng trong bồn cao vị.

Áp dụng phương trình Bernoulli cho (1-1) và (2-2):

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_b = z_2 + \frac{P_2}{\rho_F \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_{f1-2}$$

Trong đó:

z_1 : độ cao mặt thoát (1-1) so với mặt đất, chọn $z_1 = 1 \text{ m}$.

z_2 : độ cao mặt thoát (2-2) so với mặt đất, $z_2 = H_{cv} = 5 \text{ m}$.

P_1 : áp suất tại mặt thoát (1-1), chọn $P_1 = 1 \text{ at}$.

P_2 : áp suất tại mặt thoát (2-2), chọn $P_2 = 1 \text{ at}$.

v_1, v_2 : vận tốc tại mặt thoát (1-1) và (2-2), xem $v_1 = v_2 = 0 \text{ m/s}$

$\sum h_{f1-2}$: tổng tổn thất trong ống từ (1-1) đến (2-2).

H_b : cột áp của bơm.

2.1. Tính tổng trở lực trong ống:

Chọn đường kính trong của ống hút và ống đẩy bằng nhau: $d_{tr} = 50 \text{ mm}$

Tra bảng II.15, trang 381, [1] \Rightarrow Độ nhám của ống: $\varepsilon = 0,2 \text{ mm} = 0,0002$

Tổng trở lực trong ống hút và ống đẩy

$$\Sigma h_{f1-2} = \left(\lambda \frac{l_h + l_d}{d_{tr}} + \Sigma \xi_h + \Sigma \xi_d \right) \cdot \frac{v_F^2}{2g}$$

Trong đó:

l_h : chiều dài ống hút.

Chiều cao hút của bơm: Tra bảng II.34, trang 441, [1] $\Rightarrow h_h = 4,2 \text{ m}$

\Rightarrow Chọn $l_h = 6 \text{ m}$

l_d : chiều dài ống đẩy, chọn $l_d = 8 \text{ m}$

$\Sigma \xi_h$: tổng tổn thất cục bộ trong ống hút.

$\Sigma \xi_d$: tổng tổn thất cục bộ trong ống đẩy.

λ : hệ số ma sát trong ống hút và ống đẩy.

v_F : vận tốc dòng nhập liệu trong ống hút và ống đẩy m/s

$$v_F = \frac{4Q_b}{3600\pi d_{tr}^2} = \frac{4.2}{3600\pi \cdot 0,050^2} = 0,283 \text{ m/s}$$

11 Xác định hệ số ma sát trong ống hút và ống đẩy:

Chuẩn số Reynolds:

$$Re_F = \frac{v_F d_{tr} \rho_F}{\mu_F} = \frac{0,283 \cdot 0,05 \cdot 970,2}{8,05 \cdot 10^{-4}} = 17053,8 > 4000 : \text{chế độ chảy rối}$$

Chuẩn số Reynolds tới hạn: $Re_{gh} = 6(d_{tr}/\varepsilon)^{8/7} = 3301,065$

Chuẩn số Reynolds khi bắt đầu xuất hiện vùng nhám:

$$Re_n = 220(d_{tr}/\varepsilon)^{9/8} = 109674,381$$

Vì $Re_{gh} < Re_F < Re_n \Rightarrow$ chế độ chảy rối ứng với khu vực quá độ.

$$\text{Áp dụng công thức (II.64), trang 379, [1]: } \lambda = 0,1 \left(1,46 \cdot \frac{\varepsilon}{d_{tr}} + \frac{100}{Re_F} \right)^{0,25} = 0,033$$

12 Xác định tổng tổn thất cục bộ trong ống hút:

▪ Chỗ uốn cong:

Tra bảng II.16, trang 382, [1]: Chọn dạng ống uốn cong 90° có bán kính R với $R/d = 2$ thì ξ_{u1} (1 chỗ) = 0,15.

Ống hút có 2 chỗ uốn $\Rightarrow \xi_{u1} = 0,3$

▪ Van:

Chọn van cầu với độ mở hoàn toàn thì ξ_{v1} (1 cái) = 10.

Ống hút có 1 van cầu $\Rightarrow \xi_{v1} = 10$

Nên: $\Sigma \xi_h = \xi_{u1} + \xi_{v1} = 10,3$

13 Xác định tổng tổn thất cục bộ trong ống đẩy:

▪ Chỗ uốn cong:

Tra bảng II.16, trang 382, [5]: Chọn dạng ống uốn cong 90° có bán kính R với $R/d = 2$ thì ξ_{u2} (1 chỗ) = 0,15.

Ống đẩy có 4 chỗ uốn $\Rightarrow \xi_{u2} = 0,15 \cdot 4 = 0,6$

▪ Van :

Tra bảng 9.5, trang 94, [1]: Chọn van cầu với độ mở hoàn toàn thì $\xi_{v2} (1 \text{ cái}) = 10$.

Ống đẩy có 1 van cầu $\Rightarrow \xi_{v2} = 10$

▪ Vào bồn cao vị : $\xi_{cv} = 1$

Nên: $\sum \xi_d = \xi_{u1} + \xi_{v1} + \xi_{cv} = 11,6$

Vậy: $\sum h_{f1-2} = \left(0,033 \cdot \frac{6+8}{0,05} + 10,3 + 11,6 \right) \cdot \frac{0,283^2}{2 \cdot 9,81} = 0,127 \text{ m}$

2.2. Tính cột áp của bơm:

$H_b = (z_2 - z_1) + \sum h_{f1-2} = (5 - 1) + 0,127 = 4,127 \text{ m}$

3. Công suất:

Chọn hiệu suất của bơm: $\eta_b = 0,8$.

Công suất thực tế của bơm: $N_b = \frac{Q_b H_b \rho_F \cdot g}{3600 \eta_b} = \frac{2,4 \cdot 127,970 \cdot 5,9,81}{3600 \cdot 0,8}$
 $= 27,3 \text{ W}$

Kết luận: Để đảm bảo tháp hoạt động liên tục ta chọn 2 bơm li tâm, có:

Năng suất: $Q_b = 2 \text{ m}^3/\text{h}$

Cột áp: $H_b = 4,127 \text{ m}$

Công suất: $N_b = 27,3 \text{ W}$

CHƯƠNG 6:

Tính kinh tế

Lượng thép X18H10T cần dùng:

$M_1 = 21m_{\text{mâm}} + m_{\text{thân}} + 2m_{\text{đáy(nắp)}} = 243,43 \text{ kg}$

Lượng thép CT3 cần dùng:

$M_2 = 8m_{\text{bích nối thân}} + m_{\text{bích ghép ống lồng}} + m_{\text{bích ghép ống hơi}}$
 $+ 4 \cdot m_{\text{chân đỡ}} + 4 \cdot m_{\text{tai treo}} + 4 \cdot m_{\text{tấm lót}} = 163,82 \text{ kg}$

Số bulông cần dùng:

$$n = 164 \text{ (cái)}$$

Chiều dài ống 38 x 3mm:

$$L_1 = 837\text{m}$$

Chiều dài ống 70mm: Chọn tổng chiều dài ống dẫn lỏng vào tháp là 10m.

Chiều dài ống 150mm: Chọn tổng chiều dài ống hơi ở đỉnh tháp và ống hơi ở đáy tháp là $L_4 = 10\text{m}$.

Chiều dài ống 50mm: Chọn tổng chiều dài ống chảy tràn và ống xả đáy từ bồn cao vị, ống nhập liệu và ống hoàn lưu là 40m.

Bơm ly tâm: chọn 2 bơm ly tâm $\Rightarrow N_b = 2 \cdot 27,3 = 54,6 \text{ W}$

Vật liệu	Số lượng	Đơn giá	Thành tiền (đ)
Thép X18H10T	243,43 (kg)	50000 (đ/kg)	12171500
Thép CT3	163,82 (kg)	10000 (đ/kg)	1638200
Bulông	164 (cái)	2500 (đ/cái)	410000
Ống dẫn 38 x 3mm	837 (m)	50000 (đ/m)	41850000
Ống 70mm	10 (m)	100000 (đ/m)	1000000
Ống 150mm	10 (m)	100000 (đ/m)	1000000
Ống 50mm	40 (m)	100000 (đ/m)	4000000
Bơm ly tâm	54,6 (W)	700000 (đ/Hp)	56000
Áp kế	2 (cái)	200000 (đ/cái)	400000
Nhiệt kế	3 (cái)	150000 (đ/cái)	450000
Lưu lượng kế ($\geq 50\text{mm}$)	2 (cái)	1000000 (đ/cái)	2000000
Tổng chi phí vật tư			64975700

Vậy tổng chi phí vật tư là 65 triệu đồng.

Xem tiền công chế tạo bằng 200% tiền vật tư.

Vậy: tổng chi phí là 195 triệu đồng.

CHƯƠNG 7:

Kết luận

Với hệ thống chưng cất metanol - nước dùng tháp mâm xuyên lỗ như đã thiết kế, ta thấy bên cạnh những ưu điểm cũng còn có nhiều nhược điểm. Thiết bị có ưu điểm là năng suất và hiệu suất cao nhưng thiết bị còn rất cồng kềnh, đòi hỏi phải có sự vận hành với độ chính xác cao. Bên cạnh đó, khi vận hành thiết bị này ta cũng phải hết sức chú ý đến vấn đề an toàn lao động để tránh mọi rủi ro có thể xảy ra, gây thiệt hại về người và của.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Sổ tay Quá trình và Thiết bị Công nghệ Hóa học Tập 1, ĐHBK Hà Nội.
- [2]. Sổ tay Quá trình và Thiết bị Công nghệ Hóa học Tập 2, ĐHBK Hà Nội.
- [3]. Võ Văn Bang, Vũ Bá Minh, “ *Quá trình và Thiết bị trong Công Nghệ Hóa Học – Tập 3: Truyền Khối*”, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TpHCM, 2004.
- [4]. Phạm Văn Bôn – Nguyễn Đình Thọ, “*Quá trình và Thiết bị trong Công Nghệ Hóa Học – Tập 5: Quá trình và Thiết bị Truyền Nhiệt*”, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TpHCM, 2002.
- [5]. Phạm Văn Bôn , “*Quá trình và Thiết bị trong Công Nghệ Hóa Học – Bài tập Truyền nhiệt*”, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TpHCM, 2004.
- [6]. Trịnh Văn Dũng , “*Quá trình và Thiết bị trong Công Nghệ Hóa Học – Bài tập Truyền khối*”, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TpHCM, 2004.
- [7]. Hồ Lê Viên, “*Thiết kế và Tính toán các thiết bị hóa chất*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1978.
- [8]. Nguyễn Minh Tuyền, “*Cơ sở Tính toán Máy và Thiết bị Hóa chất – Thực phẩm*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1984.