

# MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT DẠNG ỐNG XOẮN VÀ VỎ BỌC BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Hồ Tấn Thành\*, Nguyễn Hoàng Thuận

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

\*Email: thanhht@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/6/2022; Ngày chấp nhận đăng: 16/12/2022

## TÓM TẮT

Bài báo tập trung đưa ra quy trình tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt phổ biến (dạng ống xoắn và vỏ bọc) và mô phỏng quá trình tính toán thiết kế trên phần mềm MATLAB. Nhiệt độ dòng nóng (chất tải nhiệt nóng), nhiệt độ dòng lạnh (chất tải nhiệt lạnh), loại chất tải nhiệt, lưu lượng dòng và loại thiết bị truyền nhiệt là những yếu tố quan trọng ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán. Mô phỏng tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt giúp tính toán hàng trăm phép tính khi có sự thay đổi của một thông số bất kỳ.

*Từ khóa:* Thiết bị trao đổi nhiệt, truyền nhiệt, MATLAB, mô phỏng, thiết kế, tính toán.

## 1. MỞ ĐẦU

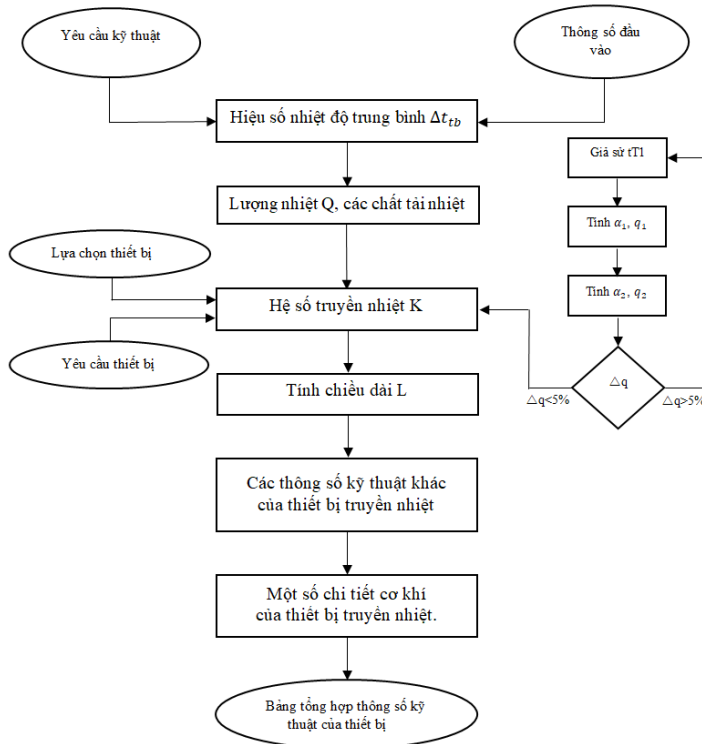
Quá trình truyền nhiệt được áp dụng rất phổ biến trong các ngành công nghiệp như hóa học, thực phẩm, sinh học, v.v. Tuy nhiên, việc tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt rất phức tạp, cần phải vận dụng rất nhiều các kiến thức liên quan đến quá trình và thiết bị (như các quá trình cơ học, quá trình truyền nhiệt, v.v.) từ những tài liệu khác nhau, phải áp dụng rất nhiều công thức tính toán dẫn đến khối lượng công việc rất lớn và dễ sai số do những nguyên nhân chủ quan trong quá trình thực hiện. Vì vậy, sử dụng phần mềm để giúp tính toán nhanh chóng các thông số, nhằm giảm thời gian tính toán và tránh sai số là rất cần thiết. Trong bài báo này, phần mềm MATLAB được ứng dụng để thực hiện mô phỏng tính toán các thông số thiết kế của thiết bị truyền nhiệt [1].

Có nhiều loại thiết bị truyền nhiệt khác nhau dựa trên các tiêu chí phân loại khác nhau như: thiết bị truyền nhiệt dạng ống lồng ống, ống chùm, ống xoắn, vỏ bọc, dạng bản, v.v. Bài báo này tập trung vào việc tính toán thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt ổn định dạng ống xoắn và vỏ bọc. Phần mô phỏng tính toán được thực hiện với tệp tin có đuôi mở rộng là mlapp - AppDesigner của MATLAB, là phần mềm rất phổ biến trên thế giới dùng để mô hình hóa và mô phỏng các quá trình khác nhau trong nhiều lĩnh vực như hóa học, điện, điện tử, v.v. [2-6].

Ứng dụng AppDesigner cho phép người sử dụng thiết kế giao diện tính toán theo ý muốn, cũng như cách viết các function đã được đơn giản hóa. Việc kiểm soát các thông số thiết bị sẽ dễ dàng hơn, nếu có lỗi xảy ra sẽ báo ở khung “command window” của MATLAB, từ đó biết được vị trí dòng bị lỗi và cần sửa lại [2].

## 2. TRÌNH TỰ THIẾT KẾ

Trình tự tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt ống xoắn và vỏ bọc được trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ quy trình tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt gián tiếp.

Khi tính toán và áp dụng phần mềm MATLAB để mô phỏng, các yêu cầu thiết kế và thông số ban đầu có thể thay đổi khác nhau:

- **Nhiệt độ đầu, nhiệt độ cuối của lưu thể 1 và lưu thể 2:** cho phép nhập yêu cầu nhiệt độ đầu của lưu thể 1 và theo các đơn vị khác nhau ( $^{\circ}\text{C}$ , K và  $^{\circ}\text{F}$ ).
- **Chọn chiều lưu thể:** cho phép chọn hai lưu thể chảy xuôi chiều, ngược chiều hoặc vuông góc với nhau.
- **Chất tải nhiệt 1, chất tải nhiệt 2:** cho phép chọn một trong các chất tải nhiệt ở Bảng 1. Ngoài ra, có thể mở rộng thêm cho các chất tải nhiệt khác.

Bảng 1. Các chất tải nhiệt có thể lựa chọn khi mô phỏng bằng phần mềm MATLAB

STT	Loại chất tải nhiệt
1	Không khí khô
2	Dầu máy biến áp
3	Nước trên đường bão hòa
4	Hơi nước trên đường bão hòa

- **Áp suất dòng lưu thể 1, áp suất dòng lưu thể 2:** cho phép nhập áp suất môi trường làm việc của lưu thể 1 và theo các loại đơn vị khác nhau (at, bar, cmHg, v.v...).
- **Lưu lượng dòng lưu thể:** cho phép nhập lưu lượng dòng lưu thể và theo các loại đơn vị khác nhau (L/min hoặc kg/s).
- **Loại thiết bị:** cho phép lựa chọn kiểu thiết bị truyền nhiệt dạng ống xoắn hoặc vỏ bọc.

## 2.1. Các thông số đầu

Cần nhập các thông số yêu cầu thiết kế gồm: nhiệt độ đầu của lưu thể 1 ( $t_{1đ}$ ), nhiệt độ cuối của lưu thể 1 ( $t_{1c}$ ), nhiệt độ đầu của lưu thể 2 ( $t_{2đ}$ ), nhiệt độ cuối của lưu thể 2 ( $t_{2c}$ ), suất lượng lưu thể 1 hoặc 2 ( $G_1$  hoặc  $G_2$ ) và chọn chiều lưu thể [1].

Trong đó giới hạn phạm vi nhiệt độ của các dòng lưu thể trong mô phỏng là:

- Không khí khô: 0-380 °C;
- Dầu máy biến áp: 0-120 °C;
- Nước trên đường bão hòa: 0-100 °C;
- Hơi nước trên đường bão hòa: 0-370 °C.

## 2.2. Hiệu số nhiệt độ trung bình ( $\Delta t_{tb}$ )

- Phương trình xác định hiệu số nhiệt độ trung bình ( $\Delta t_{tb}$ ) [1]:

$$\Delta t_{tb} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \quad (1)$$

$\Delta t_{max}$ : hiệu số nhiệt độ lớn, °C.  $\Delta t_{min}$ : hiệu số nhiệt độ nhỏ, °C.

## 2.3. Nhiệt lượng truyền ( $Q$ )

Nhiệt lượng truyền ( $Q$ ) được xác định như sau: [1, 7]

- Khi không thay đổi trạng thái:

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1đ} - t_{2đ}) = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2c} - t_{2c}), W \quad (2)$$

- Khi một chất tải nhiệt thay đổi trạng thái:

$$Q = D_1 \cdot (I_1 - I'_1) = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2c} - t_{2đ}), W \quad (3)$$

- Khi hai chất tải nhiệt thay đổi trạng thái:

$$Q = D_1 \cdot (I_1 - I'_1) = D_2 \cdot (I_2 - I'_2), W \quad (4)$$

Trong đó:

$D_1, D_2$ : lượng chất tải nhiệt khi truyền nhiệt thay đổi trạng thái, kg/s.

$I_1, I_2$ : nhiệt hàm (hơi) của hai chất tải nhiệt, J/kg.

$I'_1, I'_2$ : nhiệt hàm (lỏng) của hai chất tải nhiệt, J/kg.

$t_1, t_2$ : nhiệt độ của hai chất tải nhiệt (chỉ số đ và c ứng với điểm đầu và cuối), °C.

## 2.4. Hệ số truyền nhiệt K

Hệ số truyền nhiệt K được xác định như sau: [1, 7]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\pi \cdot \alpha_1 \cdot d_1} + \sum \frac{1}{2\lambda_i \pi} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi \cdot \alpha_2 \cdot d_2}}, \frac{W}{m^2 \cdot C} \quad (5)$$

$\alpha_1, \alpha_2$ : là hệ số cấp nhiệt ở hai phía của tường,  $W/m^2 \cdot C$ .  $\lambda_i$ : là hệ số dẫn nhiệt của các lớp tường ứng,  $W/m \cdot C$ .  $d_1, d_2$ : đường kính trong và đường kính ngoài của ống bên trong, m.

Hệ số cấp nhiệt  $\alpha_1, \alpha_2$  là những đại lượng phụ thuộc vào chuẩn số Nusselt (Nu), được xác định theo (6):

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (6)$$

$l$ : là kích thước hình học đặc trưng, m.  $\lambda$ : là hệ số dẫn nhiệt của lưu thể, W/m°C. Nu: là chuẩn số Nusselt của dòng lưu thể được xác định theo phương trình tiêu chuẩn (7)

$$Nu = C \cdot Re_f^m \cdot Gr_f^n \cdot Pr_f^k \left( \frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (7)$$

$Re_f$ : là chuẩn số Reynolds của lưu thể (đặc trưng cho chế độ chảy của lưu thể).  $Pr_f$ : là chuẩn số Prandtl của lưu thể được xác định theo nhiệt độ môi trường.  $Pr_w$ : là chuẩn số Prandtl theo nhiệt độ tại vách.  $Gr_f$ : là chuẩn số Gratkov (đặc trưng cho truyền nhiệt khi đối lưu tự nhiên). C, m, n, k: là các hệ số phụ thuộc hình dạng thiết bị, nhiệt độ dòng, phương thức và chế độ chảy.

## 2.5. Chiều dài ống truyền nhiệt L

Chiều dài ống truyền nhiệt (L) được xác định như sau: [1, 7]

$$L = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{tb}}, m \quad (8)$$

$\Delta t_{tb}$  là hiệu số nhiệt độ trung bình của lưu thể, °C. Q: nhiệt lượng, W.

## 2.6. Các thông số kích thước khác của thiết bị truyền nhiệt

### 2.6.1. Đối với thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống xoắn ruột gà

– Chiều dài của một xoắn ( $l$ )

$$l = \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + S^2}, m \quad (9)$$

D: đường kính vòng xoắn (m). S: bước của vòng xoắn (m) [7]

$$S = (1,5 \div 2,0) \cdot d_n, m \quad (10)$$

$d_n$ : là đường kính ngoài của ống, m.

– Số vòng xoắn (n)

$$n = \frac{L}{l} \quad (11)$$

L: là chiều dài ống truyền nhiệt, m.  $l$ : là chiều dài của một xoắn, m.

– Chiều cao H của ống xoắn

$$H = n \cdot S, m \quad (12)$$

### 2.6.2. Đối với thiết bị trao đổi nhiệt kiểu vỏ bọc

– Đường kính vỏ trong của thiết bị [10]:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot K + K'}}, \text{ m} \quad (13)$$

V: thể tích thiết bị, m<sup>3</sup>. K': là hệ số phụ thuộc vào hình dạng của đáy, tra ở Bảng 3.

$$K = \frac{H}{D} \quad (14)$$

Bảng 2. Giá trị tỷ số K'

STT	Hình dạng đáy	K'
1	Đáy phẳng	0
2	Đáy nón	$\frac{\pi}{4} \cdot \text{tg}\alpha_0$
3	Đáy cầu	0,071

– Chiều cao mức chất lỏng H<sub>o</sub>

$$H_o = H \cdot \alpha_c - \frac{\pi}{4} \cdot K' \cdot D \cdot (1 - \alpha_c), \text{ m} \quad (15)$$

H: là chiều cao của vỏ trong, m. A<sub>c</sub>: là hệ số chứa đầy. K': là tỷ số phụ thuộc vào hình dạng của đáy. D: là đường kính vỏ trong, m.

## 2.7. Các chi tiết cơ khí của thiết bị truyền nhiệt

Tính toán cơ khí sẽ xác định bề dày của các chi tiết trong thiết bị: bề dày vỏ thiết bị truyền nhiệt, bề dày đáy và nắp, thông số bích nối liền thiết bị, và tai treo – chân đỡ.

### 2.7.1. Tính bề dày vỏ thiết bị truyền nhiệt

a. Tính giá trị  $\frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h$  (16)

[σ]: ứng suất cho phép khi kéo, N/mm<sup>2</sup>; ω<sub>h</sub>: hệ số bền của mối hàn; P: áp suất tính toán trong thiết bị, N/mm<sup>2</sup>.

Áp suất tính toán trong thiết bị bằng:

$$P = P_m + g \cdot \rho \cdot H_1, \text{ N/m}^2 \quad (17)$$

P<sub>m</sub>: là áp suất làm việc của môi trường, N/m<sup>2</sup>. g: là gia tốc trọng trường, m/s<sup>2</sup>. ρ: là khối lượng riêng của chất lỏng, kg/m<sup>3</sup>. H<sub>1</sub>: là chiều cao cột chất lỏng, m;

b. Tính bề dày tối thiểu (S') [11]

\* Thân chịu áp suất trong

$$\text{Nếu } 5.5 \leq \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h < 25 : \quad (18)$$

$$\rightarrow S' = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h - P}, \text{ mm} \quad (19)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \geq 25 : \quad (20)$$

$$\rightarrow S' = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h}, mm \quad (21)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h < 5,5 : \quad (22)$$

$$\rightarrow S' = (0,5 \cdot D - C_a) \cdot (\beta - 1), mm \quad (23)$$

$C_a$ : hệ số bổ sung cho ăn mòn hóa học, mm.  $D$ : là đường kính thiết bị, mm.  $\beta$ : hệ số thành dày của thân.  $P$ : là áp suất trong tính toán,  $\frac{N}{mm^2}$

\* Thân chịu áp suất ngoài

$$S' = 1,18 \cdot D \cdot \left( \frac{p_n}{E^t} \cdot \frac{l'}{D_n} \right)^{0,4}, mm \quad (24)$$

$D$ : là đường kính thân, mm.  $p_n$ : là áp suất ngoài tính toán,  $\frac{N}{mm^2}$ .  $E^t$ : là mô đun đàn hồi của vật liệu thân ở nhiệt độ làm việc của nó,  $\frac{N}{mm^2}$ .  $l'$ : là chiều dài tính toán của thân, mm.

c. Tính bề dày thực của thân

$$S = S' + C, mm \quad (25)$$

$C$ : hệ số bổ sung (mm).

$$C = C_a + C_b + C_c + C_0, mm \quad (26)$$

$C_a$ : hệ số bổ sung do ăn mòn hóa học, mm.  $C_b$ : hệ số bổ sung do bào mòn cơ học, mm.  $C_c$ : hệ số bổ sung do sai lệch khi chế tạo, mm;  $C_0$ : hệ số bổ sung để quy tròn kích thước, mm.

d. Kiểm tra bền

\* Thân chịu áp suất trong

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h [1 \text{ thì:} \quad (27)$$

$$\text{Áp suất cho phép: } [P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h \cdot (\delta_2 - C_a)}{D + (\delta_2 - C_a)}, \frac{N}{mm^2} \quad (28)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h > 1 \text{ thì:} \quad (29)$$

$$\text{Áp suất cho phép } [P] = 2,3 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h \cdot \log \frac{D}{D + 2 \cdot C_a}, \frac{N}{mm^2} \quad (30)$$

\* Thân chịu áp suất ngoài

$$\text{– Nếu thỏa mãn điều kiện: } \begin{cases} 1,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (S - C_a)}{D_t}} \leq \frac{l'}{D_t} \leq \sqrt{\frac{D_t}{2 \cdot (S - C_a)}} \\ 0,3 \cdot \frac{E^t}{\sigma_t} \cdot \sqrt{\left( \frac{2 \cdot (S - C_a)}{D_t} \right)^3} \leq \frac{l'}{D_t} \end{cases}, \text{ thì:}$$

$$\text{Áp suất cho phép } [P] = 0,649 \cdot E^t \cdot \frac{D_t}{l'} \cdot \left( \frac{S - C_a}{D_t} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{S - C_a}{D_t}}, \frac{N}{mm^2} \quad (31)$$

$$- \text{ Nếu thỏa mãn điều kiện: } \begin{cases} 1,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (S - C_a)}{D_t}} \leq \frac{l'}{D_t} \leq \sqrt{\frac{D_t}{2 \cdot (S - C_a)}} \\ 0,3 \cdot \frac{E^t}{\sigma_c^t} \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot (S - C_a)}{D_t}\right)^3} > \frac{l'}{D_t} \end{cases}, \text{ thì:}$$

$$\text{Áp suất cho phép } [P] = \frac{2 \cdot [\sigma_n] \cdot (S - C_a)}{D_t \cdot \left[1 + 1,02 \cdot \frac{(l')^2 \cdot D_t}{(S - C_a)^3} \cdot \left(\frac{\sigma_c^t}{E^t}\right)^2\right]}, \text{ mm}^2 \quad (32)$$

$$\text{Điều kiện bền: } [P] > P \text{ thỏa} \quad (33)$$

### 2.7.2. Tính bề dày đáy và nắp

Đáy nắp thiết bị truyền nhiệt thường có các dạng elip, bán cầu, nón và phẳng. Mỗi dạng có phương pháp và công thức tính khác nhau. [7,11]

#### 2.7.2.1. Tính bề dày đáy và nắp hình bán cầu

##### a. Tính bề dày tối thiểu (S')

$$S' = \frac{P \cdot D_t}{4 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h} \cdot y, \text{ mm} \quad (34)$$

y: hệ số hình dáng.  $[\sigma]$ : ứng suất cho phép khi kéo của vật liệu,  $\text{N/mm}^2$ .  $D_t$ : Đường kính trong của thiết bị, mm. P: Áp suất tính toán trong thiết bị,  $\text{N/mm}^2$ .  $\omega_h$ : hệ số bền của mối hàn.

##### b. Tính bề dày thực

$$S = S' + C = S' + (C_a + C_b + C_c + C_o), \text{ mm} \quad (35)$$

C: hệ số bổ sung, mm.  $C_a$ : hệ số bổ sung do ăn mòn hóa học, mm.  $C_b$ : hệ số bổ sung do bào mòn cơ học, mm.  $C_c$ : hệ số bổ sung do sai lệch khi chế tạo, mm.  $C_o$ : hệ số bổ sung để quy tròn kích thước, mm.

##### c. Kiểm tra áp suất cho phép

$$[P] = \frac{4 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h \cdot (S - C_a)}{D_t \cdot y} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (36)$$

#### 2.7.2.2. Tính bề dày đáy và nắp hình elip tiêu chuẩn

$$\text{a. Tính giá trị } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \quad (37)$$

$[\sigma]$ : ứng suất cho phép khi kéo,  $\text{N/mm}^2$ .  $\omega_h$ : hệ số bền của mối hàn. P: áp suất tính toán trong thiết bị,  $\text{N/mm}^2$ .

##### b. Tính bề dày tối thiểu (S')

$$\text{Nếu } 4,5 \left[ \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \right] < 25 : \quad (38)$$

$$\rightarrow S' = \frac{P \cdot R_t}{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h - P}, \text{ mm} \quad (39)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h / 25 : \quad (40)$$

$$\rightarrow S' = \frac{P \cdot R_t}{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h}, mm \quad (41)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h < 5.5: \quad (42)$$

$$\rightarrow S' = (0,5D_t + C_a)(\beta - 1), mm \quad (43)$$

$R_t$ : bán kính cong bên trong ở đỉnh đáy/nắp, mm.

$$R_t = \frac{D_t^2}{4 \cdot h_t}, mm. \quad (44)$$

$h_t$ : chiều sâu của phần elip, mm.

Theo tiêu chuẩn cần chọn như sau:

$$\frac{h_t}{D_t} = 0,25 \quad (45)$$

c. Tính bề dày thực

Tính theo công thức (25),(26)

d. Kiểm tra áp suất cho phép

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h \cdot (S - C_a)}{R_t + (S - C_a)}, mm^2 \quad (46)$$

2.7.2.3. Tính bề dày đáy và nắp hình nón

\* Đối với nửa góc ở đỉnh nón  $\alpha \leq 70^\circ$  thì bề dày tối thiểu được xác định như sau:

a. Tính giá trị  $\frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \quad (47)$

$[\sigma]$ : ứng suất cho phép khi kéo, N/mm<sup>2</sup>;  $\omega_h$ : hệ số bền của mối hàn; P: áp suất tính toán trong thiết bị, N/mm<sup>2</sup>.

b. Tính bề dày tối thiểu (S')

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \geq 3 : \quad (48)$$

$$\rightarrow S' = \frac{D \cdot P}{2 \cdot (2 \cdot [\sigma_c] \cdot \varphi_h + P \cdot y)}, mm \quad (49)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h \leq 50 : \quad (50)$$

$$\rightarrow S' = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha \cdot ([\sigma] \cdot \omega_h - P)}, mm \quad (51)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h > 50 : \quad (52)$$

$$\rightarrow S' = \frac{D \cdot P}{2 \cdot \cos \beta \cdot [\sigma] \cdot \omega_h}, mm \quad (53)$$

$\beta$ : góc nghiêng của đáy nón, độ.  $\alpha$ : một nửa góc ở đỉnh đáy nón, độ.  $[\sigma_c]$ : ứng suất chảy của vật liệu, N/mm<sup>2</sup>.



c. Tính bề dày thực

Tính theo công thức (25),(26).

d. Kiểm tra áp suất cho phép

$$[P] = \frac{4 \cdot [\sigma] \cdot \omega_h \cdot (S - C_a)}{D_t \cdot y}, \text{ mm}^2 \quad (54)$$

\* Đối với nửa góc ở đỉnh nón  $\alpha > 70^\circ$  thì bề dày tối thiểu được xác định như sau:

a. Tính giá trị  $\frac{[\sigma]}{P} \cdot \omega_h$  (55)

$[\sigma]$ : ứng suất cho phép khi kéo,  $\text{N/mm}^2$ ;  $\omega_h$ : hệ số bền của mối hàn; P: áp suất tính toán trong thiết bị,  $\text{N/mm}^2$ .

b. Tính bề dày tối thiểu ( $S'$ )

$$S = 0,3 \cdot (D_t - R_t) \cdot \frac{\alpha}{90} \cdot \sqrt{\frac{p_2}{[\sigma] \cdot \omega_h}}, \text{ mm} \quad (56)$$

c. Tính bề dày thực

Tính theo công thức (25),(26).

d. Kiểm tra áp suất cho phép

$$[P] = [\sigma] \cdot \omega_h \cdot \left[ \frac{(S - C_a)}{0,3 \cdot (D_t - R_t)} \cdot \frac{90}{\alpha} \right]^2, \text{ mm}^2 \quad (57)$$

2.7.2.4. Tính bề dày đáy và nắp hình phẳng tròn

a. Tính bề dày tối thiểu ( $S'$ )

$$S' = D_t \cdot \sqrt{\frac{p \cdot K}{[\sigma]}}, \text{ mm} \quad (58)$$

c. Tính bề dày thực

Tính theo công thức (25),(26).

2.7.3. Thông số bích nối liền thiết bị

Dựa vào áp suất làm việc và đường kính trong của vỏ ngoài thiết bị, tra bảng tiêu chuẩn của thông số bích nối liền có được kích thước chi tiết [7].

2.7.4. Thông số ống truyền nhiệt

Dựa vào áp suất làm việc và đường kính trong của ống truyền nhiệt, tra bảng tiêu chuẩn của thông số bích nối liền có được kích thước chi tiết [7].

2.7.5. Tai treo - chân đỡ

a. Tính tổng khối lượng thiết bị truyền nhiệt [11]

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5, \text{ kg} \quad (59)$$

$m_1$ : là khối lượng của nắp và đáy, kg.  $m_2$ : khối lượng của vỏ thiết bị truyền nhiệt, kg.  $m_3$ : khối lượng của ống truyền nhiệt, kg.  $m_4$ : khối lượng của các bích ghép thân, kg.  $m_5$ : khối lượng của chất lỏng trong thiết bị, kg.

$$m_2 = \left( \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \right) H \cdot \rho, \text{ kg} \quad (60)$$

$D_n$ : đường kính ngoài của vỏ thiết bị, m.  $D_t$ : đường kính trong vỏ thiết bị, m.  $H$ : chiều cao vỏ thiết bị truyền nhiệt, m.  $\rho$ : khối lượng riêng của thép, kg/m<sup>3</sup>.

$$m_3 = \left( \frac{\pi d_n^2}{4} - \frac{\pi d_t^2}{4} \right) L \cdot \rho, \text{ kg} \quad (61)$$

$$m_4 = n \cdot h_{bích} \rho \cdot \left( \frac{\pi \cdot D_{n,bích}^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_{t,bích}^2}{4} \right), \text{ kg} \quad (62)$$

$D_{n,bích}$ : đường kính ngoài của bích, m.  $D_{t,bích}$ : đường kính trong của bích, m.  $n$ : số bích ghép thân.  $h_{bích}$ : chiều cao bích, m.  $\rho$ : khối lượng riêng của thép chế tạo bích, kg/m<sup>3</sup>.

$$m_5 = H' \cdot \rho_L \frac{\pi \cdot D_t^2}{4}, \text{ kg} \quad (63)$$

$D_t$ : đường kính trong của tháp, m.  $H'$ : chiều cao toàn tháp, m.  $\rho_L$ : khối lượng riêng của chất lỏng trong tháp, kg/m<sup>3</sup>.

b. Tính tải trọng trên 1 tai treo, chân đỡ [11]

$$F_1 = \frac{F}{n} = \frac{m \cdot g}{n}, \text{ N} \quad (64)$$

$n$ : số chân đỡ và tai treo

c. Kích thước tai treo, chân đỡ

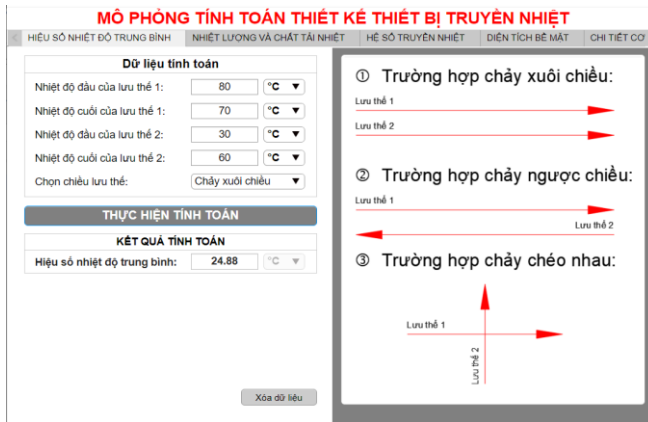
Dựa vào tải trọng cho phép trên 1 tai treo - chân đỡ, tra bảng tiêu chuẩn của tai treo và chân đỡ có được kích thước chi tiết [7].

### 3. MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Ứng dụng phần mềm lập trình MATLAB mô phỏng tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt, trong đó có thể thay đổi nhiệt độ đầu của dòng nóng, nhiệt độ cuối dòng nóng, nhiệt độ đầu của dòng lạnh, nhiệt độ cuối của dòng lạnh, chiều chuyển động của lưu thể, loại chất tải nhiệt dòng nóng và dòng lạnh, áp suất của các dòng, lưu lượng của dòng nóng hoặc lạnh, v.v. Mỗi yêu cầu đặt ra được thực hiện tính toán với rất nhiều phương trình, ngoài ra còn các phương trình phụ khác cùng với hàng trăm thông số phải tra cứu và nội suy từ các bảng số liệu như khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, độ nhớt, hệ số dẫn nhiệt, v.v.

Mô phỏng tính toán thực hiện với tệp tin có đuôi mở rộng là mlapp - AppDesigner của MATLAB. Ứng dụng AppDesigner cho phép người sử dụng thiết kế giao diện tính toán theo ý muốn của mình, cũng như cách viết các function đã được đơn giản hóa.

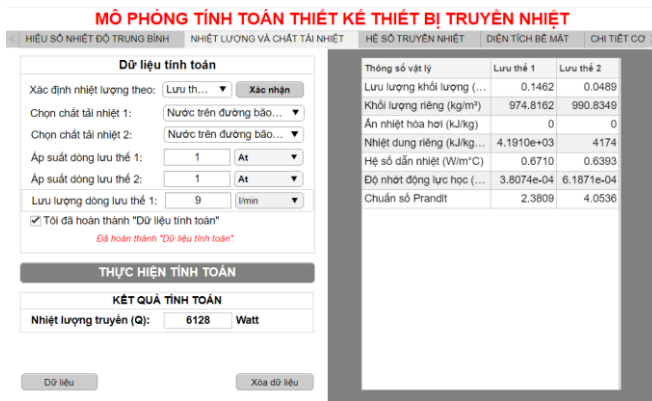
Hình 2-10 là các giao diện trong quá trình tính toán thiết kế được thiết kế để nhập dữ liệu, yêu cầu và xuất kết quả. Kết quả mô phỏng quá trình tính toán được trình bày trong Bảng 13 [2, 12].



Hình 2. Hiệu số nhiệt độ trung bình  $\Delta t_{tb}$

Bảng 3. Thông số và công thức tính toán hiệu số nhiệt độ trung bình  $\Delta t_{tb}$

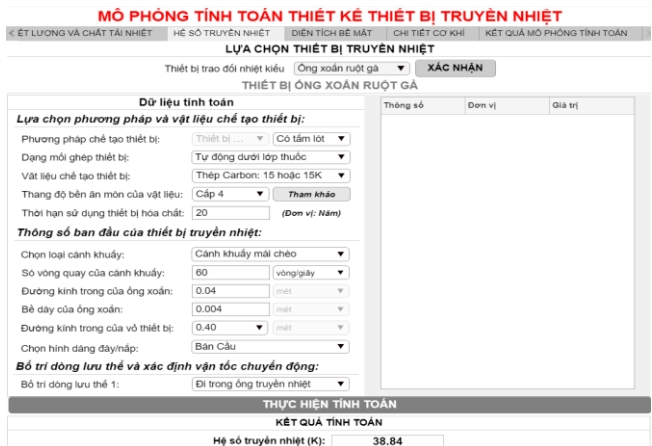
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Hiệu số nhiệt độ trung bình	$\Delta t_{tb}$	(1)



Hình 3. Lượng nhiệt Q và các chất tải nhiệt

Bảng 4. Thông số và công thức tính toán nhiệt lượng truyền (Q)

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Lượng nhiệt truyền	Q	(2), (3), (4)



Hình 4. Hệ số truyền nhiệt K cho thiết bị ống xoắn

Bảng 5. Thông số và công thức hệ số truyền nhiệt K của thiết bị ống xoắn

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Hệ số cấp nhiệt $\alpha$	$\alpha$	(5)-(7)
2	Nhiệt tải	q	
3	Nhiệt độ tường	$t_w$	
4	Hệ số truyền nhiệt	K	

**MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT**

LỰA CHỌN THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT

Thiết bị trao đổi nhiệt kiểu: Hai vỏ **XÁC NHẬN**

THIẾT BỊ HAI VỎ

**Dữ liệu tính toán**

Lựa chọn phương pháp và vật liệu chế tạo thiết bị:

Phương pháp chế tạo thiết bị: Thiết bị... **Có tấm lót**

Dạng mối ghép thiết bị: Tự động dưới lớp thuốc

Vật liệu chế tạo thiết bị: Thép Carbon: 15 hoặc 15K

Thang độ bền an môn của vật liệu: Cấp 1 **Tham khảo**

Thời hạn sử dụng thiết bị ho chất: 0 (Đơn vị: Năm)

**Thông số đầu vào của thiết bị truyền nhiệt:**

Chọn dạng dây thiết bị: Dây phẳng

Chọn loại cánh khuấy: Cánh khuấy mái chèo

Công suất quay của cánh khuấy: 0 Watt

Đường kính trong thiết bị: 0.40 (Đơn vị: mét)

**Bổ trí dòng lưu thể 1 chuyển động:**

Bổ trí dòng lưu thể 1: Đi trong thân thiết bị

Khối lượng nước trong nguyên liệu: 0 l/min

**THỰC HIỆN TÍNH TOÁN**

**KẾT QUẢ TÍNH TOÁN**

Hệ số truyền nhiệt (K): 0

Hình 5. Hệ số truyền nhiệt K cho thiết bị vỏ bọc

Bảng 6. Thông số và công thức hệ số truyền nhiệt K của thiết bị vỏ bọc

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Hệ số cấp nhiệt $\alpha$	$\alpha$	(17)-(19)
2	Nhiệt tải $q$		
3	Nhiệt độ tường $t_w$		
4	Hệ số truyền nhiệt	K	

**MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT**

THỰC HIỆN TÍNH TOÁN

**KẾT QUẢ TÍNH TOÁN**

Diện tích bề mặt truyền nhiệt: 6.342 m<sup>2</sup>

Xem thông số kỹ thuật thiết bị truyền nhiệt.

**THÔNG SỐ KỸ THUẬT THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT**

Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Đường kính trong của ống trong	mm	40
Đường kính trong của ống ngoài	mm	400
Chiều dài của ống truyền nhiệt	mm	4.2054e+04
Đường kính vòng xoắn	mm	323.2000
Đường kính cánh khuấy	mm	258.5600
Bước của vòng xoắn	mm	808
Chiều dài một vòng xoắn	mm	1.2976e+03
Số vòng xoắn	Vòng	32.4086
Chiều cao vòng xoắn	mm	2.6186e+04
Chiều cao vỏ thiết bị	mm	3.1423e+04

Hình 6. Diện tích bề mặt truyền nhiệt (F)

Bảng 7. Thông số và công thức tính diện tích bề mặt truyền nhiệt (F)

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Thông số kỹ thuật thiết bị		(9)-(16)

**MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT**

THỰC HIỆN TÍNH TOÁN

**KẾT QUẢ TÍNH TOÁN**

Bề dày vỏ thiết bị: 4 mm

Bề dày dây/nắp thiết bị: 4 mm

Hình dạng dây/nắp thiết bị

Hình 7. Vỏ thiết bị truyền nhiệt

Bảng 8. Thông số và công thức bề dày vỏ thiết bị truyền nhiệt

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Bề dày vỏ thiết bị	S	(16)-(33)
2	Bề dày đáy/nắp thiết bị	S	(34)-(58)

**MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ TRUYỀN NHIỆT**

THỰC HIỆN TÍNH TOÁN

**THÔNG SỐ BÍCH NỐI LIỀN THIẾT BỊ**

**Kích thước bề mặt đệm**

Py (N/mm <sup>2</sup> )	Dy (mm)	D2 (mm)	D4 (mm)
1.6000	400.0000	447.0000	427.0000

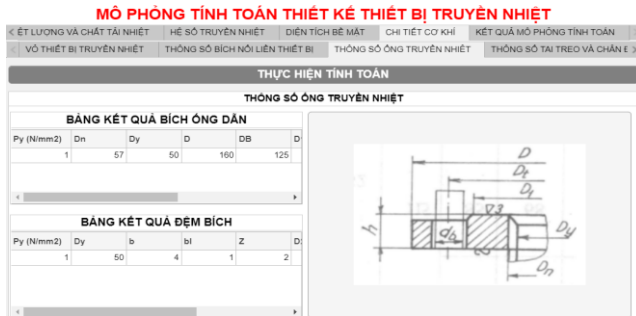
**Thông số mặt bích**

Py (N/mm <sup>2</sup> )	Dt (mm)	D (mm)	Db (mm)	Di (mm)
1.6000	400.0000	560.0000	500.0000	462.0000

Hình 8. Thông số bích nối liền thiết bị

Bảng 9. Thông số bích nối liền thiết bị

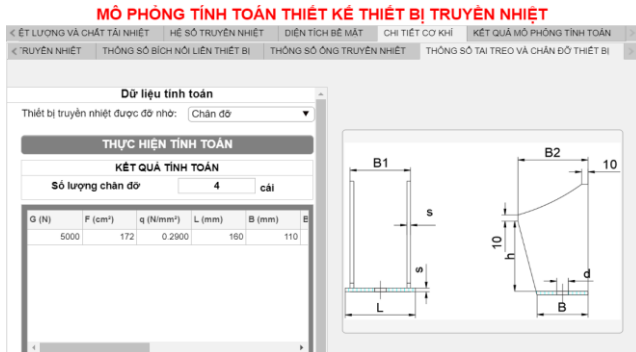
STT	Thông số tra	Tài liệu
1	Bề mặt đệm	[7]
2	Mặt bích	[7]



Hình 9. Thông số ống truyền nhiệt

Bảng 10. Thông số ống truyền nhiệt

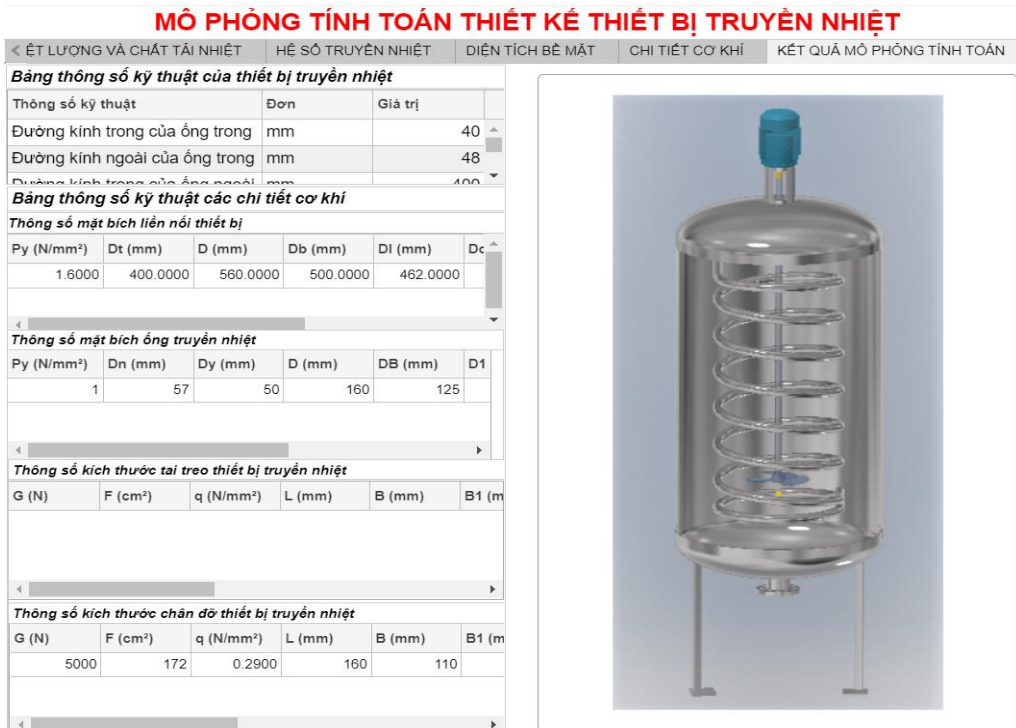
STT	Thông số tra	Tài liệu
1	Bích ống dẫn	[7]
2	Đệm bích	[7]



Hình 10. Tính chọn tai treo, chân đỡ

Bảng 11. Thông số và công thức tính chọn tai treo, chân đỡ

Stt	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Tải trọng trên 1 tai treo (chân đỡ)	$F_1$	(59) - (64)
2	số tai treo (chân đỡ)	$n$	



Hình 11. Bảng tổng hợp thông số kỹ thuật của thiết bị

#### 4. CHẠY KIỂM CHỨNG CHƯƠNG TRÌNH

Tính toán thiết kế thiết bị ống xoắn, với các thông số như sau:

Bảng 12. Bảng số liệu các thông số chạy thử

STT	Thông số	Giá trị
1	Nhiệt độ đầu của lưu thể 1	80 (°C)
2	Nhiệt độ cuối của lưu thể 1	70 (°C)
3	Nhiệt độ đầu của lưu thể 2	30 (°C)
4	Nhiệt độ cuối của lưu thể 2	60 (°C)
5	Chọn chiều lưu thể	Chảy xuôi chiều
6	Áp suất dòng lưu thể 1, 2	1 at
7	Lưu lượng dòng lưu thể 1	9(L/min)
8	Thời hạn sử dụng thiết bị	20(năm)
9	Số Vòng quay của cánh khuấy	60(vòng/giây)
10	Bố trí dòng lưu thể 1	Đi trong ống trong

Kết quả tính toán bằng tay (dùng máy tính cầm tay để tính toán từng bước) và dùng phần mềm MATLAB vừa mô phỏng xong được trình bày trong Bảng 13.

Bảng 13. Bảng số liệu so sánh kết quả tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt ống xoắn

Stt	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Matlab	Tính tay	Sai số (%)
1	Hiệu số nhiệt độ trung bình	$\Delta t_{tb}$	°C	24,88	24,88	0
2	Nhiệt lượng	Q	W	6128	6128	0
3	Hệ số truyền nhiệt	K	W/m <sup>2</sup> °C	38,84	39,7	2,0
4	Đường kính trong của ống trong	d	mm	40	40	0
5	Đường kính trong của ống ngoài	D <sub>1</sub>	mm	400	400	0
6	Chiều dài của ống truyền nhiệt	L	mm	42504	44209	6,0
7	Đường kính vòng xoắn	D	mm	323,2	323,2	0
8	Đường kính cánh khuấy	D <sub>ck</sub>	mm	258,56	258,56	0
9	Bước của vòng xoắn	S	mm	808	808	0
10	Chiều dài một vòng xoắn	l	mm	1297,6	1297,6	0
11	Số vòng xoắn	n	ống	33	35	6,0
12	Chiều cao vòng xoắn	H <sub>l</sub>	mm	26186	27116	6,0
13	Chiều cao vỏ thiết bị	H	mm	31423	33021	6,0
14	Số tai treo	n <sub>taitreo</sub>	cái	0	0	0
15	Số chân đỡ	n <sub>chân đỡ</sub>	cái	4	4	0

Sau khi so sánh kết quả tính toán theo hai cách, có thể thấy phần lập trình các công thức tính cũng như bảng tra và các công thức nội suy bằng ngôn ngữ MATLAB hoàn toàn tin cậy. Trong đó, hầu hết các thông số tính được theo hai cách đều bằng nhau, chỉ một vài thông số có sự sai lệch nhỏ, nguyên nhân chủ yếu là do khi tính bằng tay thì các thông số thường được quy tròn ở mỗi bước.

## 5. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng chi tiết quy trình tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt dạng ống xoắn và vỏ bọc với các yêu cầu khác nhau về nhiệt độ dòng nóng (chất tải nhiệt nóng), nhiệt độ dòng lạnh (chất tải nhiệt lạnh), loại chất tải nhiệt, lưu lượng dòng và loại thiết bị truyền nhiệt.

Dựa trên kết quả đó tiếp tục xây dựng được phần mềm mô phỏng tính toán thiết kế bằng ngôn ngữ MATLAB, giúp quá trình tính toán nhanh hơn (chưa tới 1 phút, trong khi tính bằng tay phải mất hơn 10 ngày), với hàng loạt phép tính, hàng trăm số liệu phải tra cứu, nội suy và tránh sai số chủ quan trong quá trình tính.

Hiện tại, việc thực hiện các đề án quá trình tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt trong công nghệ hóa học cũng như công nghệ thực phẩm của các sinh viên gặp rất nhiều khó khăn như tính toán quá nhiều bước, tra rất nhiều số liệu, không biết chọn thiết bị nào là phù hợp nhất, v.v. Điều đó dẫn đến việc để tính được 1 thiết bị, người học phải mất gần một học kỳ mới làm xong, với rất nhiều rủi ro trong việc bấm máy tính, cũng như chọn thiết bị không phù hợp (nếu làm lại sẽ không kịp thời gian). Phần mềm tính toán thiết kế thiết bị truyền nhiệt cho phép tính toán cả 2 loại thiết bị truyền nhiệt phổ biến, mỗi thiết bị với cả trăm phép tính, tránh được sai số chủ quan trong quá trình làm với thời gian rất ngắn.

Phần mềm rất có ý nghĩa trong việc phục vụ cho công tác học tập, giảng dạy, nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế về lĩnh vực tính toán và thiết kế thiết bị truyền nhiệt.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Xuân Toàn - Quá trình và Thiết bị Truyền nhiệt, Tập 3, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2005, tr. 262.
2. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh - Lập trình MATLAB, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2003, tr. 371.
3. Lê Phương Trường, Trương Thành Nam - Xây dựng mô hình xác định sản lượng điện mặt trời trên mái nổi lưới dựa trên môi trường MATLAB/Simulink. Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật **58** (2020) 84-91.
4. Brian R., Hunt, Ronald L., Lipsman, Jonathan M., Rosenberg - A Guide to MATLAB for beginners and experienced users, 2nd Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2006, pp. 346
5. Tsow F., Kumar A., Hossein S.H., Bowden A. - A low-cost, wearable, do-it-yourself functional near-infrared spectroscopy (DIY-fNIRS) headband. HardwareX **10** (4) (2021) 204-210.
6. Vagga A., Aherrao S., Harshawardhan Pol., Borkar V. - Flow visualization by MATLAB® based image analysis of high - speed polymer melt extrusion film casting process for determining necking defect and quantifying surface velocity profiles. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research **5** (1) (2022) 5-11.
7. Nguyễn Bin, Đỗ Văn Đài, Long Thanh Hùng, Đinh Văn Huỳnh, Nguyễn Trọng Khuông, Phan Văn Thơm, Phạm Văn Toàn, Trần Xoa - Sổ tay quá trình và thiết bị công nghệ hóa chất, Tập 2, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006, tr. 447.
8. Nguyễn Bin, Đỗ Văn Đài, Long Thanh Hùng, Đinh Văn Huỳnh, Nguyễn Trọng Khuông, Phan Văn Thơm, Phạm Văn Toàn, Trần Xoa - Sổ tay quá trình và thiết bị công nghệ hóa chất, Tập 1, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006, tr. 632.

9. Carl L. Yaws - Chemical properties handbook Physical, thermodynamic, environmental, transport, safety and health related properties for organic and inorganic chemicals, McGraw Hill, USA, 1999, pp. 779.
10. Nguyễn Minh Tuyển - Quá trình và thiết bị khuấy trộn trong công nghiệp, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2006, tr. 208.
11. Hồ Lê Viên - Tính toán thiết kế các chi tiết thiết bị hóa chất và dầu khí, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006, tr. 239.
12. Phạm Thị Ngọc Yên, Ngô Hữu Tình, Lê Tấn Hùng, Nguyễn Thị Lan Hương - Cơ sở MATLAB và ứng dụng, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2005, tr.236.

## **ABSTRACT**

### **SIMULATION OF CALCULATING AND DESIGNING COIL AND JACKET HEAT EXCHANGER ON MATLAB SOFTWARE**

Ho Tan Thanh\*, Nguyen Hoang Thuan  
*Ho Chi Minh City University of Food Industry*  
\*Email: [thanhht@hufi.edu.vn](mailto:thanhht@hufi.edu.vn)

This article focuses on calculation and design procedure for one of the most popular heat exchangers (the “coil and jacket”) and on simulation of this process using Matlab software. Our research shows that the Hot and cold fluid temperatures, also that the type of fluid, flow rate and heat exchanger type are important factors that have great influence on results. Simulating the problem on Matlab software may help shorten time for calculation and design, and give results very quickly when input parameters change.

*Keywords:* Heat exchanger, heat transfer, simulation, calculation, design, Matlab.