

MÔ PHÒNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ CHUNG CÁT HỆ HAI CẦU TỬ

Hồ Tấn Thành*, Nguyễn Ngọc Cát Tường

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: *thanhht@hufi.edu.vn*

Ngày nhận bài 22/6/2021; Ngày chấp nhận đăng: 09/8/2021

TÓM TẮT

Bài báo tập trung đưa ra quy trình tính toán thiết kế thiết bị chung cát và mô phỏng quá trình tính toán thiết kế trên phần mềm MATLAB. Loại hỗn hợp, nồng độ, suất lượng và loại thiết bị là những yếu tố quan trọng ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán. Mô phỏng tính toán thiết kế thiết bị chung cát giúp tính toán hàng trăm phép tính khi có sự thay đổi của một thông số bất kỳ.

Từ khóa: Chung cát, MATLAB, mô phỏng, thiết kế, tính toán.

1. MỞ ĐẦU

Chung cát là quá trình tách các cầu tử của một hỗn hợp lỏng cũng như hỗn hợp lỏng - hơi thành các cầu tử riêng biệt dựa vào độ bay hơi khác nhau của các cầu tử trong hỗn hợp. Quá trình chung cát đã được áp dụng nhiều trong ngành công nghiệp hóa học - thực phẩm. Tuy nhiên, việc tính toán thiết kế thiết bị chung cát 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 và quá trình truyền khối) 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 chung cát [1, 2].

Thiết bị chung cát có nhiều loại khác nhau dựa trên các tiêu chí phân loại như: gián đoạn hay liên tục; hệ hai cầu tử, hệ đa cầu tử; tháp mâm và tháp đệm, v.v. Bài báo này tập trung vào việc tính toán thiết kế tháp chung cát liên tục, áp dụng cho hệ hai cầu tử và thay đổi kiểu tháp: tháp đệm, tháp đĩa lưới và tháp mâm chóp. 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. [3-7].

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. Việc kiểm soát các thông số tháp 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. TRÌNH TỰ THIẾT KẾ

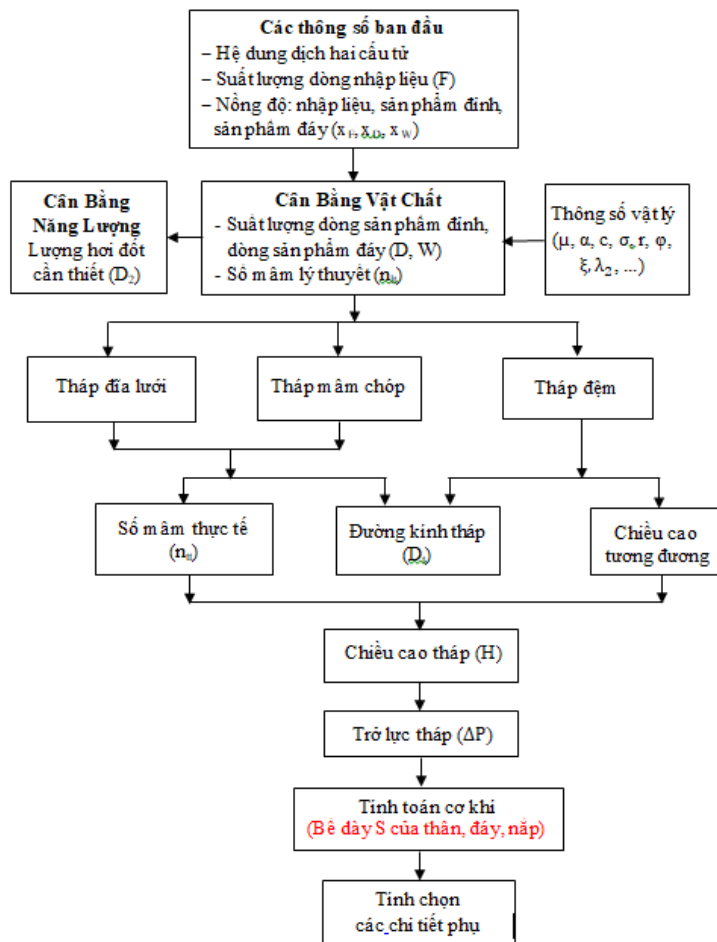
Trình tự tính toán thiết kế thiết bị chung cát liên tục được trình bày trong Hình 1. Khi tính toán và áp dụng phần mềm MATLAB để mô phỏng, các yêu cầu thiết kế và thông số ban đầu có thể thay đổi khác nhau:

- **Loại thiết bị:** cho phép lựa chọn kiểu thiết bị chưng cất trong 3 kiểu sau: tháp mâm chóp, tháp đĩa lưới và tháp đệm
- **Hệ dung dịch:** cho phép chọn một trong các hệ dung dịch hai cấu tử ở Bảng 1. Ngoài ra, có thể mở rộng thêm cho các hệ hai cấu tử khác.

Bảng 1. Các hệ dung dịch hai cấu tử được lựa chọn khi mô phỏng bằng phần mềm MATLAB

Benzene_Toluene	Benzene_Dicloetan	Ethanol_H ₂ O
H ₂ O_AcidAcetic	Aceton_H ₂ O	Aceton_Acid Acetic
Aceton_Benzene	Aceton_Trichloroethylene	Aceton_Chlorobenzene
Aceton_Ethanol	Methanol_H ₂ O	AcidAcetic_Acetamide
Acetaldehyde_Benzene	H ₂ O_AcidPropionic	CarbonDisulfide_CarbonTetrachloride
MethylEthylAceton_Toluene

- **Suất lượng nhập liệu F:** cho phép thay đổi suất lượng nhập liệu và theo các loại đơn vị khác nhau (kmol/h, kg/h, kmol/s, v.v.)
- **Nồng độ nhập liệu x_F , nồng độ sản phẩm đỉnh x_D , nồng độ sản phẩm đáy x_W :** cho phép thay đổi nồng độ và theo các loại đơn vị khác nhau: phần mol (pmol), phần trăm mol (%mol), phần khối lượng (pkl), phần trăm khối lượng (%kl).



Hình 1. Sơ đồ quy trình tính toán thiết kế thiết bị chưng cất liên tục

2.1. Các thông số đầu

Cần nhập các thông số yêu cầu thiết kế gồm: suất lượng dòng nhập liệu F , nồng độ nhập liệu x_F , nồng độ sản phẩm đỉnh x_D , nồng độ sản phẩm đáy x_W , loại thiết bị và hệ dung dịch cần chưng cất [2].

2.2. Cân bằng vật chất

Các phương trình cân bằng vật chất trong tháp chưng cất [2, 8]:

$$F = D + W \quad (1)$$

$$F x_F = D x_D + W x_W \quad (2)$$

Trong đó:

F, D, W : suất lượng dòng nhập liệu, dòng sản phẩm đỉnh và dòng sản phẩm đáy (kmol/h)

x_F, x_D, x_W : nồng độ nhập liệu, sản phẩm đỉnh và sản phẩm đáy (pmol)

Giải hệ phương trình (1) và (2) tìm ra suất lượng dòng sản phẩm đỉnh D và suất lượng dòng sản phẩm đáy W .

2.3. Cân bằng năng lượng

Tổng nhiệt lượng mang vào tháp bằng tổng lượng nhiệt mang ra [9, 10]:

$$Q_F + Q_{D2} + Q_R = Q_y + Q_W + Q_{xq} + Q_{ng2} \quad (3)$$

Trong đó:

$$\text{Nhiệt lượng do hỗn hợp đầu mang vào tháp (J/h): } Q_F = G_F C_F t_F \quad (4)$$

$$\text{Nhiệt lượng do hơi đốt mang vào tháp (J/h): } Q_{D2} = D_2 \lambda_2 = D_2 (r_2 + C_2 \theta_2) \quad (5)$$

$$\text{Nhiệt lượng do lượng lỏng hồi lưu mang vào (J/h): } Q_R = G_R C_R t_R \quad (6)$$

$$\text{Nhiệt lượng do hơi mang ra ở đỉnh tháp (J/h): } Q_y = P(1 + R_x) \lambda_d \quad (7)$$

$$\text{Nhiệt lượng do sản phẩm đáy mang ra (J/h): } Q_W = W C_W t_W \quad (8)$$

$$\text{Nhiệt lượng do nước ngưng mang ra (J/h): } Q_{ng2} = G_{ng2} C_2 \theta_2 \quad (9)$$

$$\text{Nhiệt lượng tổn thất ra môi trường xung quanh (J/h): } Q_{xq} = 0.05 D_2 r_2 \quad (10)$$

C_F, C_R, C_W, C_2 : nhiệt dung riêng của hỗn hợp nhập liệu, dòng lỏng hồi lưu, sản phẩm đáy và nước ngưng (J/kg.K); t_F, t_R, t_W : nhiệt độ hỗn hợp đầu, lỏng hồi lưu và sản phẩm đáy (°C); λ_2 : hàm nhiệt của hơi đốt (J/kg); r_2 : ẩn nhiệt hóa hơi (J/h); λ_d : nhiệt lượng riêng của hơi ở đỉnh tháp (J/kg); G_F, G_R, G_{ng2} : lượng lỏng nhập liệu, hồi lưu và ngưng tụ (kg/h); D_2 : lượng hơi đốt cần thiết để đun sôi dung dịch (kg/h); θ_2 : nhiệt độ của nước ngưng (°C).

Tra và nội suy các thông số vật lý $\lambda_2, C_2, r_2, \lambda_d, C_W$ theo nhiệt độ và thành phần của các chất, kết hợp giải các phương trình trên tính được lượng hơi đốt cần thiết để đun sôi dung dịch ở đáy tháp (kg/h).

$$D_2 = \frac{Q_y + D_W + Q_{ng2} + Q_{xq2} - Q_F - Q_R}{\lambda_2} \quad (11)$$

2.4. Xác định số mâm lý thuyết

Số mâm lý thuyết được xác định dựa vào đường cân bằng thực nghiệm và các đường làm việc trong tháp chưng cất [2, 11].

Phương trình đường nồng độ làm việc đoạn cất:

$$y = \frac{R}{R+1} + \frac{x_D}{R+1} \quad (12)$$

Phương trình đường nồng độ làm việc đoạn chưng

$$y = \frac{f+R}{R+1} - \frac{f-1}{R+1} x_w \quad (13)$$

f : tỷ số lượng hỗn hợp nhập liệu so với sản phẩm đỉnh

$$f = \frac{F}{D} \quad (14)$$

R : Chỉ số hồi lưu

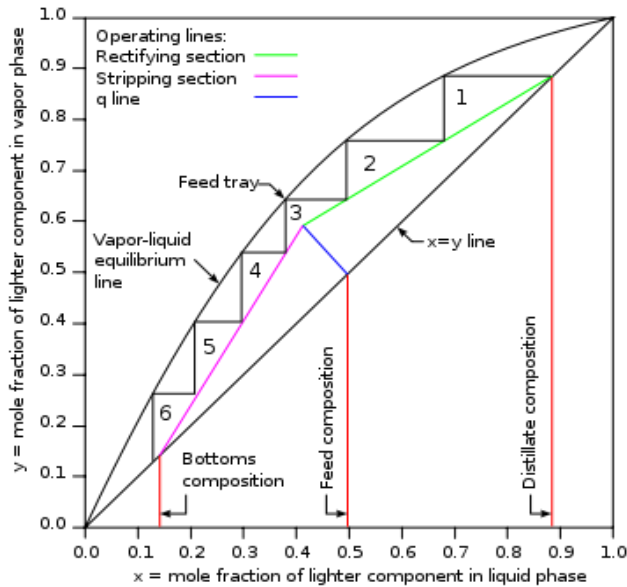
$$R = (1.2 \div 2.5) R_{x\min} \quad (15)$$

$R_{x\min}$: chỉ số hồi lưu tối thiểu của tháp chưng cất

$$R_{x\min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F} \quad (16)$$

y_F^* : nồng độ cấu tử dễ bay hơi trong pha hơi cân bằng với nồng độ trong pha lỏng x_F của hỗn hợp đầu

Dựa trên đường làm việc và đường cân bằng thực nghiệm, xác định được số mâm lý thuyết. Cách xác định được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Xác định số mâm lý thuyết trên đồ thị

2.5. Xác định số mâm thực tế

Xác định số mâm thực tế theo hiệu suất trung bình [10]:

$$N_t = \frac{N_1}{\eta_{tb}} \quad (17)$$

$$\eta_{tb} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n}{n} \quad (18)$$

η_1, η_2, \dots : hiệu suất trung bình của các bậc thay đổi nồng độ; N_1 : số bậc thay đổi nồng độ; η_{tb} : hiệu suất trung bình của thiết bị; n : số vị trí tính hiệu suất.

2.6. Tính kích thước tháp

Kích thước tháp chưng cất gồm có đường kính D_t và chiều cao. Cách tính toán hai thông số này sẽ thay đổi tùy theo loại tháp [10, 12].

2.6.1. Tính đường kính tháp (D_t)

$$D_t = 0,0188 \sqrt{\frac{g_{tb}}{(\rho_y \omega_y)_{tb}}} \quad (19)$$

ρ_y : khối lượng riêng hơi (khí) trung bình đi trong tháp (m^3/h); ω_y : tốc độ hơi (khí) trung bình đi trong tháp (m/s); g_{tb} : lượng hơi (khí) trung bình đi trong tháp (kg/h).

a. Tính tốc độ hơi trong tháp đĩa lưới có ống chảy chuyển

$$\omega_{gh} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y}} \quad (20)$$

ω_{gh} : tốc độ giới hạn trên (m/s); ρ_x, ρ_y : khối lượng riêng của lỏng và hơi (kg/m^3).

Để tránh tạo bọt, cần chọn tốc độ làm việc bằng khoảng từ 80% đến 90% tốc độ tính theo công thức (20):

$$\omega_y = (0,8 - 0,9) \omega_{gh} \quad (21)$$

b. Tính tốc độ hơi trong tháp mâm chóp

$$(\rho_y \omega_y)_{tb} = 0,065 \varphi [\sigma] \sqrt{h \rho_{xtb} \rho_{ytb}} \left(\frac{kg}{m^2 s} \right) \quad (22)$$

ρ_{xtb}, ρ_{ytb} : khối lượng riêng trung bình của pha lỏng và pha khí (hơi) tính theo nhiệt độ trung bình (kg/m^3); h : khoảng cách giữa các đĩa (m); $\varphi[\sigma]$: hệ số tính đến sức căng bề mặt.

c. Tính tốc độ hơi trong tháp đệm

$$Y = 1,2 e^{-4X} \quad (23)$$

$$Y = \frac{\omega_s^2 \sigma_d \rho_{ytb}}{g V_d^2 \rho_{xtb}} \left(\frac{\mu_x}{\mu_n} \right)^{0,16} \quad (24)$$

$$X = \left(\frac{G_x}{G_y} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\rho_{ytb}}{\rho_{xtb}} \right)^{\frac{1}{8}} \quad (25)$$

ω_s : tốc độ sặc (m/s); σ_d : bề mặt riêng của đệm (m^2/m^3); V_d : thể tích tự do của đệm (m^3/m^3); g : gia tốc trọng trường; G_x, G_y : lượng lỏng và lượng hơi trung bình (kg/s); ρ_{xtb}, ρ_{ytb} : khối lượng riêng trung bình của pha lỏng và hơi (kg/m^3); μ_x, μ_n : độ nhớt của pha lỏng theo nhiệt độ trung bình và độ nhớt của nước ở 20 °C ($N.s/m^2$).

Tính tốc độ làm việc của dòng hơi trong tháp:

$$\omega_y = (0,8 - 0,9) \omega_s \quad (26)$$

2.6.2. Tính chiều cao tháp (H)

a. Tháp đĩa lưới có ống chảy chuyển và tháp mâm chóp [10]

$$H = N_t(H_d + \delta) + (0,8 \div 1) \quad (27)$$

N_t : số đĩa thực tế; δ : chiều dày của đĩa. $(0,8 \div 1)$: khoảng cách cho phép ở đỉnh và đáy thiết bị (m); H_d : khoảng cách giữa các đĩa (m).

b. Tháp đệm [10]

Chiều cao của tháp đệm được tính dựa vào số đơn vị truyền khối:

$$H_d = m_y h_{dv} \quad (28)$$

m_y : số đơn vị chuyển khối xác định theo pha hơi; h_{dv} : chiều cao của một đơn vị truyền khối (m).

Chiều cao của một đơn vị truyền khối:

$$h_{dv} = h_1 + h_2 \frac{mG_y}{G_x} \quad (29)$$

h_1 : chiều cao của 1 đơn vị truyền khối đối với pha hơi (m); h_2 : chiều cao của 1 đơn vị truyền khối đối với pha lỏng (m); m : số đơn vị truyền khối xác định theo nồng độ trong pha hơi (khí) và pha lỏng.

$$h_1 = \frac{V_d}{\alpha \psi \sigma_d} Re_y^{0,25} Pr_y^{2/3} \quad (30)$$

$$h_2 = 256 \left(\frac{\mu_x}{\mu_y} \right)^{2/3} Re_x^{0,25} Pr_x^{0,5} \quad (31)$$

α : hệ số phụ thuộc vào dạng đệm, với đệm vòng $\alpha = 0,123$, với đệm gỗ $\alpha = 0,152$; μ_x : độ nhớt của pha lỏng (N.s/m²); V_d : thể tích tự do của đệm; σ_d : bề mặt riêng của đệm (m²/m³); ρ_x : khối lượng riêng của lỏng (kg/m³); ψ : hệ số thấm ướt của đệm (phụ thuộc vào tỷ số giữa mật độ tưới thực tế lên tiết diện ngang của tháp U_{tt} và mật độ tưới thích hợp U_{th}); Re_x, Re_y : chuẩn số Reynolds của pha lỏng và pha hơi; Pr_x, Pr_y : chuẩn số Prandtl của pha lỏng và pha hơi.

$$U_{tt} = \frac{V_x}{F_t} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{.h)} \quad (32)$$

$$U_{th} = B \sigma_d \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{.h)} \quad (33)$$

Đối với quá trình chưng luyện, $B = 0,065 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{.h}$; V_x : lưu lượng thể tích của chất lỏng (m³/h); F_t : diện tích mặt cắt của tháp (m²).

Số đơn vị truyền khối xác định theo pha hơi:

$$m_y = \int_{y_c}^{y_d} \frac{dy}{y - y_{cb}} \quad (34)$$

y_{cb} : thành phần mol cân bằng của dòng hơi; y : thành phần mol làm việc của dòng hơi.

2.7. Xác định trở lực của tháp

2.7.1. Tháp đĩa lưới có ống chảy chuyển [2, 10]

$$\Delta P = N_{tt} \times \Delta P_d \quad (35)$$

N_{tt} : số đĩa thực tế của tháp; ΔP_d : tổng trở lực của một đĩa (N/m²)

$$\Delta P_d = \Delta P_k + \Delta P_s + \Delta P_t \quad (36)$$

$$\Delta P_k: \text{trở lực đĩa khô, (N/m}^2\text{)} \quad \Delta P_k = \xi \frac{\rho_y \omega_0^2}{2} \quad (37)$$

ΔP_s : trở lực đĩa do sức căng bề mặt, (N/m²)

$$\text{- Đĩa có đường kính lỗ nhỏ hơn 1 mm: } \Delta P_s = \frac{4\sigma}{d_{l\delta}} \quad (38)$$

$$\text{- Đĩa có đường kính lỗ lớn hơn 1 mm: } \Delta P_s = \frac{4\sigma}{1,3d_{l\delta} + 0,08d_{l\delta}^2} \quad (39)$$

ΔP_t : Trở lực của lớp chất lỏng trên đĩa, (N/m²)

$$\Delta P_t = 1,3 \left[Kh_c + \sqrt[3]{\left(\frac{G_x}{mL_c}\right)^2} \right] g\rho_x \quad (40)$$

2.7.2. Tháp mâm chóp [2, 10]

$$\Delta P = N_{tt} \times \Delta P_d \quad (41)$$

N_{tt} : số đĩa thực tế của tháp; ΔP_d là tổng trở lực của một đĩa (N/m²)

$$\Delta P_d = \Delta P_k + \Delta P_s + \Delta P_t \quad (42)$$

$$\Delta P_k \text{ là trở lực đĩa khô, (N/m}^2\text{)} : \Delta P_k = \xi \frac{\rho_y \omega_0^2}{2} \quad (43)$$

$$\Delta P_s \text{ là trở lực do sức căng bề mặt (N/m}^2\text{)} : \Delta P_s = \frac{4\sigma}{d_{td}} \quad (44)$$

ΔP_t là trở lực của lớp chất lỏng trên đĩa, (N/m²) :

$$\Delta P_t = \rho_b g \left(h_b - \frac{h_r}{2} \right) \quad (45)$$

2.7.3. Tháp đệm [2, 10]

Tổng thất áp suất khi đệm ướt tại điểm đảo pha có tốc độ của khí bằng tốc độ của khí đi qua đệm khô (N/m²)

$$\Delta P_{\text{tr}} = \Delta P_k \left[1 + A \left(\frac{G_x}{G_y} \right)^m \left(\frac{\rho_x}{\rho_y} \right)^n \left(\frac{\mu_x}{\mu_y} \right)^c \right] \quad (46)$$

G_x, G_y : lưu lượng của lỏng và của khí (hơi) (kg/s); ρ_x, ρ_y : khối lượng riêng của lỏng và của hơi (khí) (kg/m³); μ_x, μ_y : độ nhớt của lỏng và của khí (hơi) (N.s/m²); ΔP_k : tổn thất áp suất (trở lực) của đệm khô (N/m²).

$$\Delta P_k = \frac{\lambda' H \rho_y \omega_t^2}{d_{td} 2} \quad (47)$$

2.8. Tính toán cơ khí thiết bị chính

Tính toán cơ khí sẽ xác định bề dày của các chi tiết trong tháp chưng cất: thân, đáy và nắp [13].

2.8.1. Tính bề dày thân tháp [13]

a. Tính áp suất bên trong tháp (tính tại đáy tháp), với môi trường làm việc lỏng – khí

$$P = P_h + P_L + \Delta P \quad (48)$$

P_h : áp suất hơi trong tháp (N/mm²); P_L : áp suất thủy tĩnh của cột chất lỏng (N/mm²)

b. Tính giá trị $\frac{[\sigma]}{P} \varphi_h$ (49)

$[\sigma]$: ứng suất cho phép khi kéo (N/mm²); φ_h : hệ số bền của mối hàn; P : áp suất tính toán trong thiết bị (N/mm²)

c. Tính bề dày tối thiểu (S') của thân

$$\text{Nếu } 5.5 \leq \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h < 25: S' = \frac{P \cdot D_t}{2[\sigma]\varphi_h - P} \quad (50)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h \geq 25 : S' = \frac{PD_t}{2[\sigma]\varphi_h} \quad (51)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h < 5,5 : S' = (0,5D_t + C_a)(\beta - 1) \quad (52)$$

C_a : hệ số bổ sung cho ăn mòn hóa học; β : hệ số thành dày của thân (tra bảng 2/trang 96 [13]).

d. Tính bề dày thực của thân

$$S = S' + C = S' + (C_a + C_b + C_c + C_o) \quad (53)$$

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), chỉ tính khi có dòng lưu chất chuyển động trong thiết bị ($v_k > 100$ m/s; $v_l > 20$ m/s); 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).

e. Kiểm tra bền

$$\text{Nếu } \frac{S - C_a}{D_t} \leq 0,1 : \text{Áp suất cho phép } [P] = \frac{2[\sigma]\varphi_h(S - C_a)}{D_t + (S - C_a)} \quad (54)$$

$$\text{Nếu } \frac{S - C_a}{D_t} > 0,1 : \text{Áp suất cho phép } [P] = 2,3\varphi_h[\sigma] \lg \frac{D_n}{D_t + 2C_a} \quad (55)$$

Nếu $[P] > P$: thỏa

2.8.2. Tính bề dày đáy và nắp [13]

a. Tính giá trị $\frac{[\sigma]}{P} \varphi_h$ (56)

$[\sigma]$: ứng suất cho phép khi kéo (N/mm²); φ_h : hệ số bền của mối hàn; P : áp suất tính toán trong thiết bị (N/mm²).

b. Tính bề dày tối thiểu (S')

$$\text{Nếu } 4,5 \leq \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h < 2 : S' = \frac{PR_t}{2[\sigma]\varphi_h - P} \quad (57)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h \geq 25 \quad : S' = \frac{PR_t}{2[\sigma]\varphi_h} \quad (58)$$

$$\text{Nếu } \frac{[\sigma]}{P} \varphi_h < 5.5 \quad : S' = (0,5D_t + C_a)(\beta - 1) \quad (59)$$

R_t : bán kính cong bên trong ở đỉnh (mm); h_t : chiều sâu của phần elip, theo tiêu chuẩn

$$\frac{h_t}{D_t} = 0,25 \quad (60)$$

c. Tính bề dày thực

$$S = S' + C = S' + (C_a + C_b + C_c + C_o) \quad (61)$$

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), chỉ tính khi có dòng lưu chất chuyển động trong thiết bị ($v_k > 100\text{m/s}$; $v_l > 20\text{m/s}$); 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)

d. Kiểm tra áp suất cho phép

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi_h(S - C_a)}{R_t + (S - C_a)} \quad (62)$$

2.9. Tính chọn các chi tiết phụ

Các thông số của các chi tiết phụ cần tính là kích thước của các ống dẫn trong tháp [10], số lượng và kích thước của tai treo và chân đỡ [10, 13].

2.9.1. Đường kính các ống dẫn [10]

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785\omega}} \quad (63)$$

V : lưu lượng thể tích (m^3/s). ω : tốc độ trung bình (m/s), được chọn theo [4]: bảng II.2/trang 370 - Tốc độ trung bình của chất lỏng và khí chuyển động trong ống dẫn; d : đường kính ống dẫn (m).

a. Ống dẫn dòng sản phẩm đỉnh

Tính đường kính ống:

$$d_1 = \sqrt{\frac{V_1}{0,785\omega_1}} \quad (64)$$

ω_1 : tốc độ trung bình của hơi quá nhiệt (m/s) ([4], bảng II.2/trang 370); V_1 : lưu lượng hơi đi ra khỏi tháp (m^3/s).

$$V_1 = \frac{G_D(1 + R_x)}{3600\rho_1} \quad (65)$$

Chọn chiều dài đoạn ống nối l_1 theo [10], bảng XIII.32/trang 434.

b. Ống dẫn dòng hoàn lưu

Tính đường kính ống:

$$d_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0,785\omega_2}} \quad (66)$$

ω_2 : tốc độ trung bình của chất lỏng trong ống hút của bơm ([9], bảng II.2/ trang 370).
 V_2 : lưu lượng dòng hoàn lưu (m^3/s).

$$V_2 = \frac{G_L}{3600\rho_2} \quad (67)$$

Chọn chiều dài đoạn ống l_2 theo [10], bảng XIII.32/trang 434.

c. Ống dẫn dòng nhập liệu

Tính đường kính ống:

$$d_3 = \sqrt{\frac{V_3}{0,785\omega_3}} \quad (68)$$

ω_3 : tốc độ trung bình của chất lỏng trong ống hút của bơm ([9]: bảng II.2/trang 370);
 V_3 : Lưu lượng dòng nhập liệu (m^3/s).

$$V_3 = \frac{G_F}{3600\rho_3} \quad (69)$$

Chọn chiều dài đoạn ống l_3 theo [10], bảng XIII.32/trang 434.

d. Ống dẫn dòng sản phẩm đáy

$$d_4 = \sqrt{\frac{V_4}{0,785\omega_4}} \quad (70)$$

ω_4 : Tốc độ trung bình của chất lỏng tự chảy ([9], bảng II.2/trang 370); V_4 : Lưu lượng dòng sản phẩm đáy (m^3/s).

$$V_4 = \frac{G_W}{3600\rho_4} \quad (71)$$

Chọn chiều dài đoạn ống l_4 theo [10], bảng XIII.32/ trang 434.

2.9.2. *Tai treo – chân đỡ [13]*

a. Tính tổng khối lượng tháp

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 \quad (72)$$

Khối lượng của nắp và đáy (m_1)

Tra theo tiêu chuẩn [10].

Khối lượng của thân tháp

$$m_2 = \left(\frac{\pi D_n^2}{4} - \frac{\pi D_t^2}{4} \right) H\rho \quad (73)$$

D_n : đường kính ngoài của thân tháp (m); D_t : đường kính trong của thân tháp (m);
 H : chiều cao tháp (m); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3).

Khối lượng của mâm

$$m_3 = N_{tt} \delta \rho \frac{\pi D_t^2}{4} \quad (74)$$

N_{tt} : số mâm thực tế; D_t : Đường kính trong của tháp (m); δ : bề dày mâm (m); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3).

Khối lượng của chóp

$$m_4 = N_{tt} n \rho \left[\left(\frac{\pi d_{ch,ngoài}^2}{4} - \frac{\pi d_{ch,trong}^2}{4} \right) h_{ch} + \frac{\pi d_{ch,ngoài}^2}{4} \delta_{ch} \right] \quad (75)$$

N_{tt} : số mâm thực tế; n : số chóp. $(d_{ch})_{trong}$, $(d_{ch})_{ngoài}$: đường kính trong và ngoài của chóp (m); h_{ch} : chiều cao chóp (m); δ_{ch} : bề dày chóp (m); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3).

Khối lượng của ống hơi

$$m_5 = N_{tt} n h_h \rho \left(\frac{\pi d_{h,ngoài}^2}{4} - \frac{\pi d_{h,trong}^2}{4} \right) \quad (76)$$

N_{tt} : số mâm thực tế; n : số ống hơi; $(d_h)_{trong}$, $(d_h)_{ngoài}$: đường kính trong và ngoài của ống hơi (m); h_h : chiều cao ống hơi (m); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3)

Khối lượng của ống chảy chuyên

$$m_6 = N_{tt} n H_c \rho \left(\frac{\pi d_{c,ngoài}^2}{4} - \frac{\pi d_{c,trong}^2}{4} \right) \quad (77)$$

N_{tt} : số mâm thực tế; n : số ống chảy chuyên; $(d_c)_{trong}$, $(d_c)_{ngoài}$: đường kính trong và ngoài của ống chảy chuyên (m); H_c : chiều cao ống chảy chuyên (m); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3).

Khối lượng của các bích ghép thân

$$m_7 = n h_{bích} \rho \left(\frac{\pi D_{n,bích}^2}{4} - \frac{\pi D_{t,bích}^2}{4} \right) \quad (78)$$

$D_{n,bích}$: 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); ρ : khối lượng riêng của thép (kg/m^3).

Khối lượng của chất lỏng trong tháp

$$m_8 = H' \rho_L \frac{\pi D_t^2}{4} \quad (79)$$

D_t : đường kính trong của tháp (m); H' : chiều cao toàn tháp (m); ρ_L : khối lượng riêng của chất lỏng trong tháp (kg/m^3)

b. Tính tải trọng trên 1 tai treo, chân đỡ [13]

$$F_1 = \frac{F}{n} = \frac{mg}{n} \quad (80)$$

n : số chân đỡ và tai treo.

c. Kích thước tai treo, chân đỡ [10]

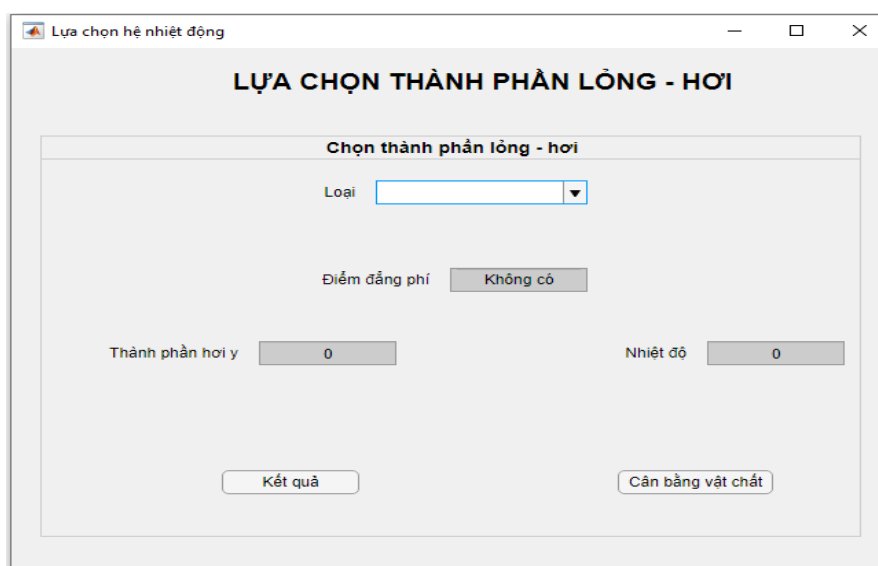
Dựa vào tải trọng cho phép trên 1 tai treo - chân đỡ, tra bảng tiêu chuẩn của tai treo và chân đỡ có được kích thước chi tiết ([10] bảng XIII.35 – XIII.37, trang 437 – 439).

3. MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Ứng dụng phần mềm lập trình MATLAB mô phỏng tính toán thiết kế thiết bị chưng cất với 16 hệ khác nhau, trong đó có thể thay đổi năng suất nhập liệu, yêu cầu nồng độ sản phẩm đỉnh và nồng độ đáy. 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 mapp – 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.

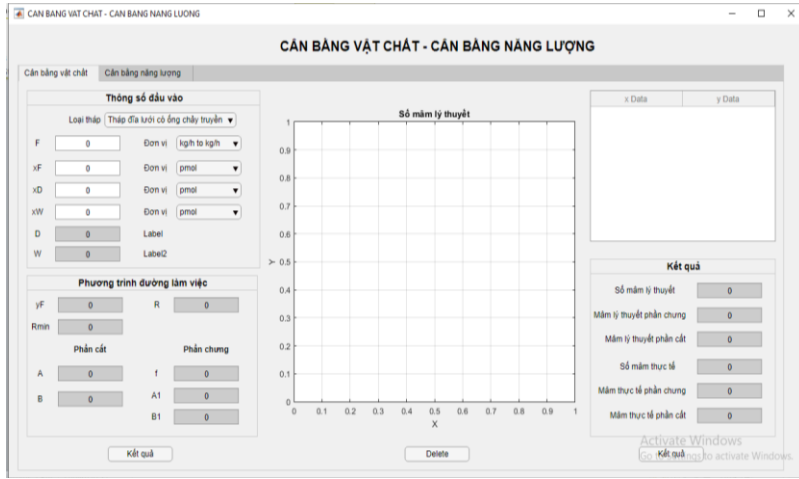
Hình 3-12 là các giao diện trong quá trình tính toán thiết kế được thiết kế để nhập dữ liệu, yêu cầu và xuất kết quả. Kết quả mô phỏng quá trình tính toán được trình bày trong Bảng 2 [1, 14].



Hình 3. Lựa chọn hệ chưng cất

Bảng 2. Thông số và công thức tính toán cân bằng vật chất

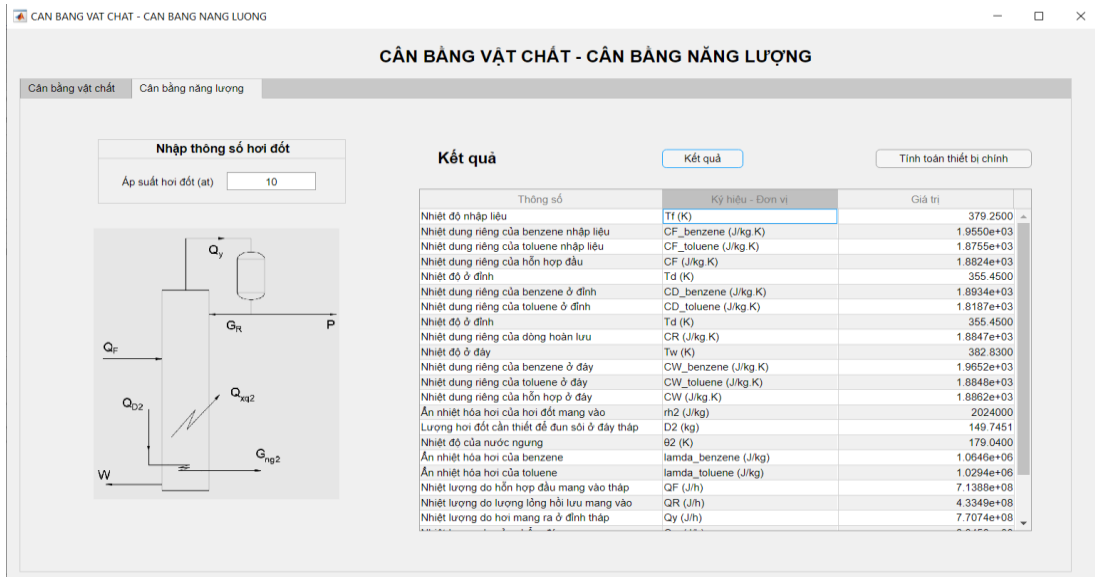
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Suất lượng đỉnh và đáy	D,W	(1), (2)
2	Phương trình làm việc đoạn cất và đoạn chưng		(12), (13), (14), (15), (16)
3	Xác định số mâm lý thuyết	N_1	
4	Xác định số mâm thực tế	N	(17), (18)



Hình 4. Tính cân bằng vật chất

Bảng 3. Thông số và công thức tính toán cân bằng năng lượng

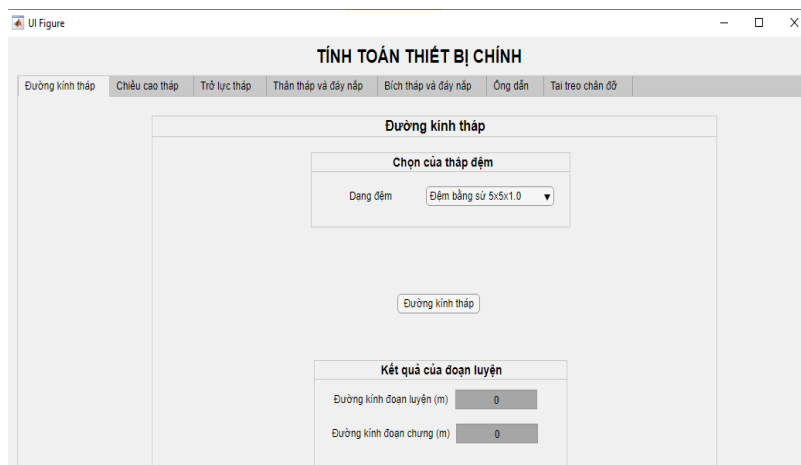
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Nhiệt lượng do hỗn hợp đầu mang vào tháp	Q_F	(4)
2	Nhiệt lượng do hơi đốt mang vào	Q_{D2}	(5)
3	Nhiệt lượng do lượng lỏng hồi lưu	Q_R	(6)
4	Nhiệt lượng do hơi mang ra ở đỉnh	Q_y	(7)
5	Nhiệt lượng do sản phẩm đáy	Q_w	(8)
6	Nhiệt lượng do nước ngưng mang ra	Q_{ng2}	(9)
7	Nhiệt lượng tổn thất ra môi trường	Q_{xq}	(10)
8	Lượng hơi đốt cần thiết	D_2	(11)



Hình 5. Tính cân bằng năng lượng

Bảng 4. Thông số và công thức tính toán đường kính tháp

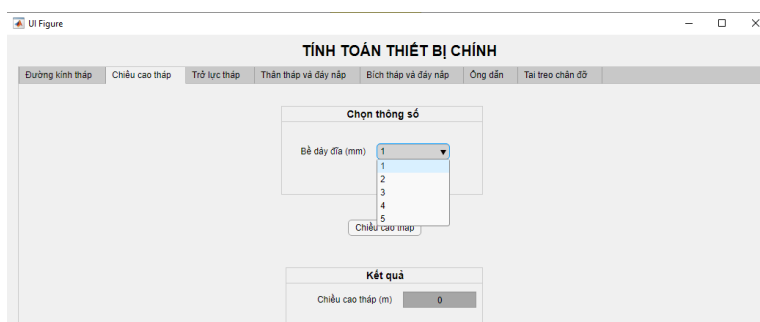
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Đường kính đoạn cắt	D_t	(19)
2	Đường kính đoạn chung	D_t	(19)



Hình 6. Tính đường kính thiết bị

Bảng 5. Thông số và công thức tính toán chiều cao tháp

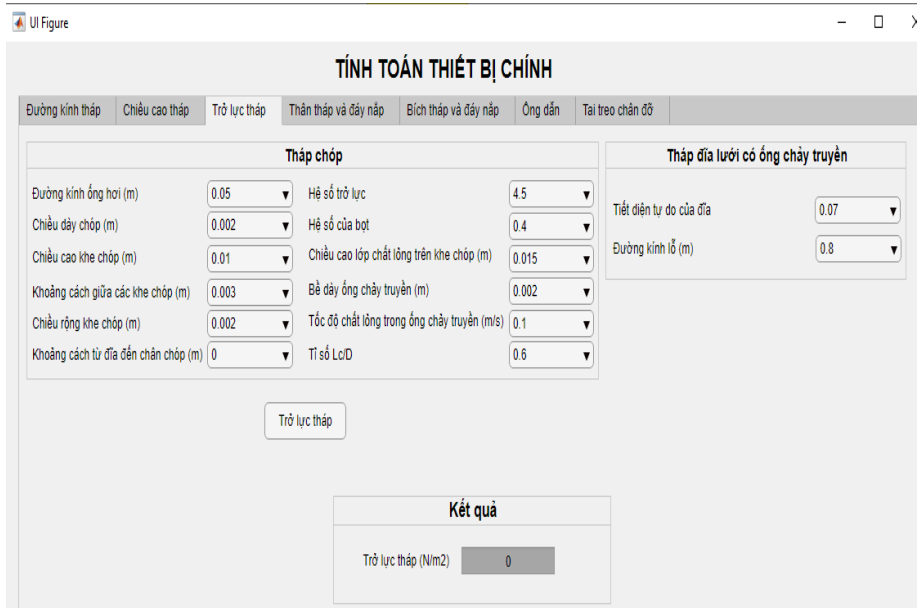
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Chiều cao tháp đĩa lưới và tháp mâm chóp	H	(27)
2	Chiều cao tháp đệm	H_d	(28)



Hình 7. Tính đường kính chiều cao thiết bị

Bảng 6. Thông số và công thức tính toán trở lực tháp

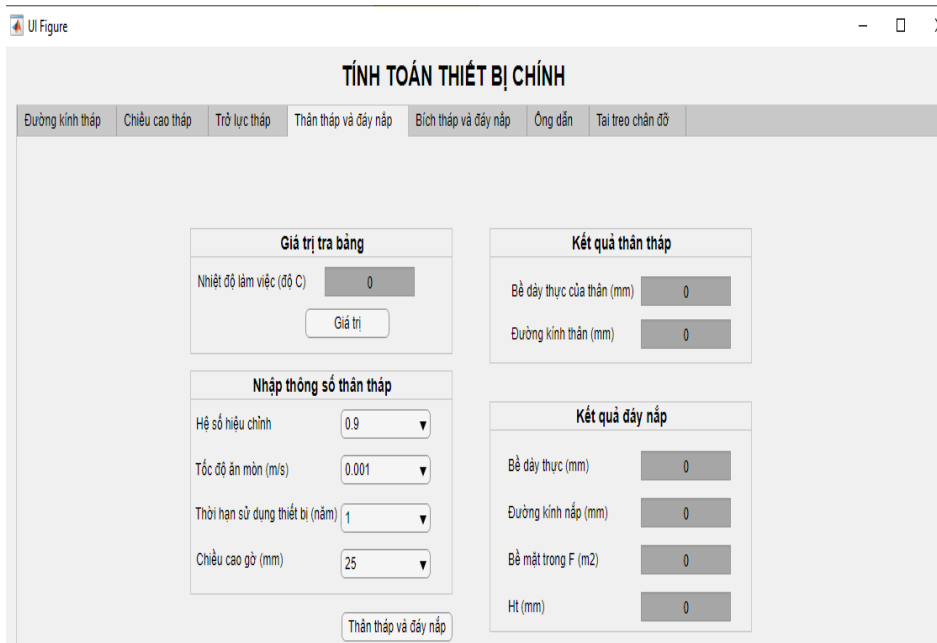
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Trở lực tháp đĩa lưới	ΔP	(35) – (40)
2	Trở lực tháp mâm chóp	ΔP	(41) – (45)
3	Trở lực tháp đệm	ΔP	(46) – (47)



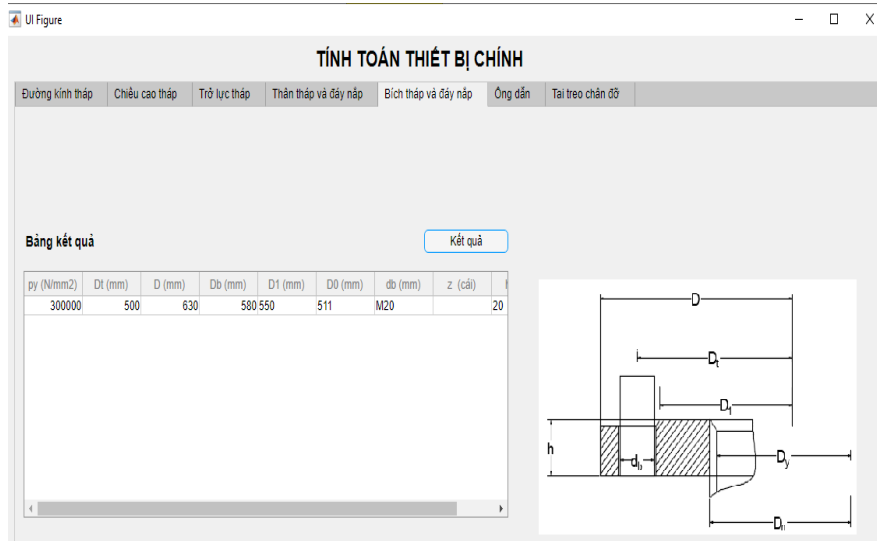
Hình 8. Tính trở lực của tháp

Bảng 7. Thông số và công thức tính toán bề dày thân tháp và đáy nắp

STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Bề dày thân tháp	S	(53)
2	Bề dày đáy nắp	S	(61)



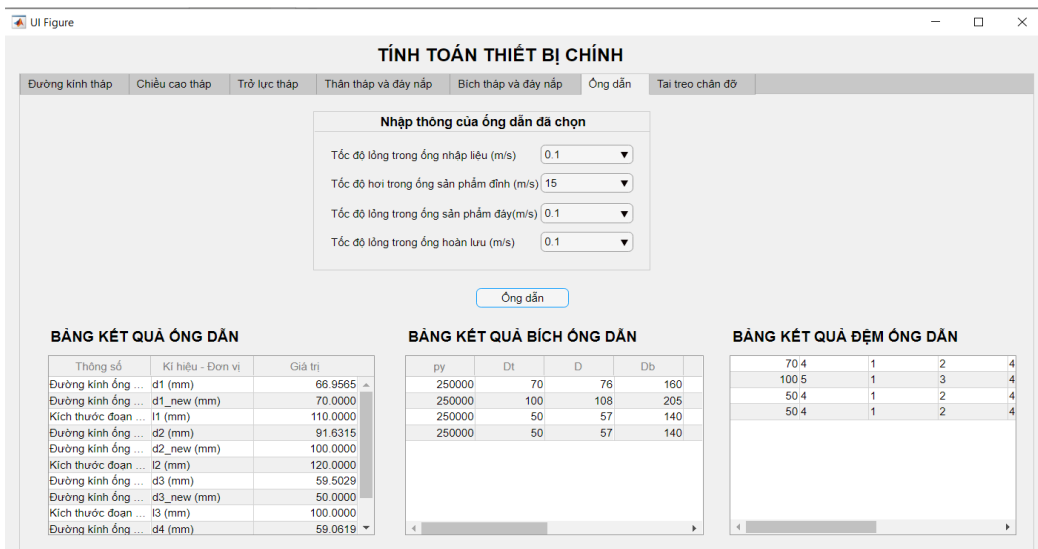
Hình 9. Tính thân và đáy nắp



Hình 10. Tính mặt bích của thân và đáy nắp

Bảng 8. Thông số và công thức tính toán các loại ống dẫn

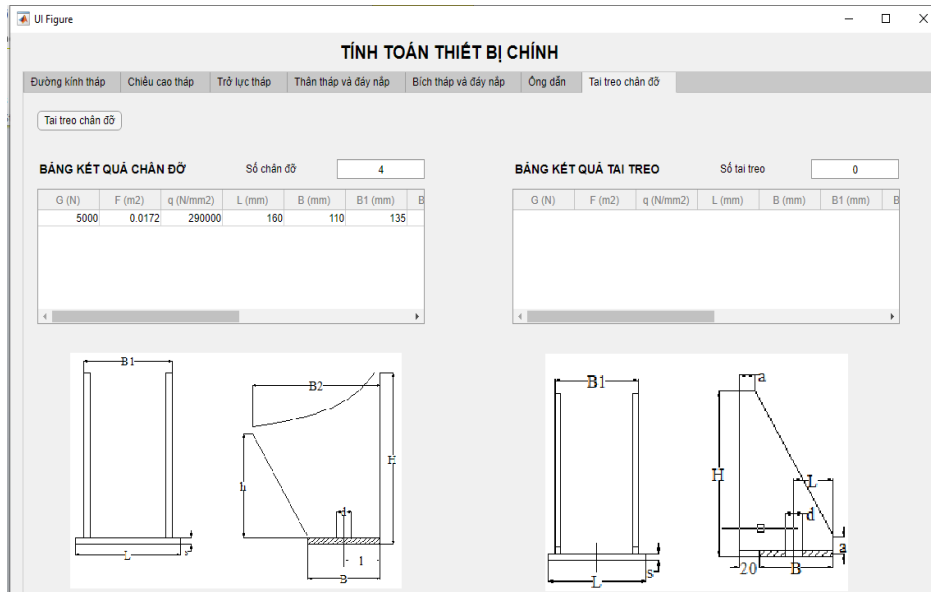
STT	Thông số tính toán	Ký hiệu	Công thức
1	Đường kính ống dẫn dòng sản phẩm đỉnh	d_1	(64)
2	Đường kính ống dẫn dòng hoàn lưu	d_2	(66)
3	Đường kính ống dẫn dòng nhập liệu	d_3	(68)
4	Đường kính ống dẫn dòng sản phẩm đáy	d_4	(70)



Hình 11. Tính các loại ống dẫn

Bảng 9. 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 → Chọn số tai treo (chân đỡ)	F_1	(80)



Hình 12. Tính chọn tai treo, chân đỡ

4. CHẠY KIỂM CHỨNG CHƯƠNG TRÌNH

Tính toán thiết kế thiết bị chưng cất dạng tháp đĩa để tách hỗn hợp Benzene-Toluene với suất lượng nhập liệu là 1000 kg/h, nồng độ nhập liệu, sản phẩm đỉnh và sản phẩm đáy là 0,2 pmol, 0,92 pmol và 0,02 pmol, bằng phần mềm đã mô phỏng và bằng tay (phương pháp thủ công dựa trên máy tính cầm tay và được tính 2 lần trên 1 phép toán). Kết quả tính toán bằng 2 phương pháp được trình bày ở Bảng 10.

Bảng 10. Bảng số liệu so sánh kết quả thiết kế thiết bị chưng cất

Stt	Thông số	Ký hiệu	Kết quả tính tay	Kết quả tính MATLAB	Sai số
1	Suất lượng sản phẩm đỉnh	D	177,5 kg/h	177,4 kg/h	0,056%
2	Suất lượng sản phẩm đáy	W	822,5 kg/h	822,6 kg/h	0,012%
3	Chỉ số hoàn lưu làm việc	R	4,2	4,2	0%
4	Số mâm lý thuyết	N_{lt}	13 mâm	14 mâm	7,69%
5	Số mâm thực tế	N_{tt}	17 mâm	18 mâm	5,88%
6	Đường kính tháp	D_t	0,52 m	0.5 m	3,85%
7	Chiều cao tháp	H	5,3 m	5 m	5,66%
8	Trở lực tháp	ΔP	6688 N/m ²	6698 N/m ²	0,15%
9	Số tai treo	$n_{tai\ treo}$	0	0	0%
10	Số chân đỡ	$n_{ch\ \ddot{a}n\ \ddot{a}p}$	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 quyn tròn ở mỗi bước.

5. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng chi tiết quy trình tính toán thiết kế thiết bị chưng cất với các yêu cầu khác nhau về thông số công nghệ cũng như thiết bị như các hệ dung dịch chưng cất khác nhau, suất lượng nhập liệu, nồng độ nhập liệu, nồng độ sản phẩm đỉnh, nồng độ sản phẩm đáy và loại thiết bị.

Dựa trên kết quả đó tiếp tục xây dựng được phần mềm tính toán thiết kế thiết bị chưng cất 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), độ chính xác cao hơn tính tay 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 đồ án quá trình thiết bị về chưng cất 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 mô phỏng tính toán thiết kế thiết bị chưng cất cho phép tính toán cả 3 loại thiết bị chưng cất phổ biến khác nhau, mỗi thiết bị với cả trăm phép tính, tránh được sai số chủ quan trong quá trình làm với thời gian rất ngắn. Sau đó, người làm có thể so sánh kết quả tính toán thiết kế cả 3 thiết bị trên để lựa chọn thiết bị phù hợp nhất.

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 chưng cất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh - Lập trình MATLAB, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2003).
2. Vũ Bá Minh, Võ Văn Bang - Quá trình và Thiết bị Công nghệ hóa học & Thực phẩm, Tập 3: Truyền khối, NXB Đại học Bách Khoa TP.HCM (2015).
3. 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).
4. 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.
5. Võ Khánh Thoại - Ứng dụng công cụ Simulink trong MATLAB để mô phỏng các mạch điện tử công suất, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng **18** (3) (2020) 54-57.
6. Francis Tsow, Anupam Kumar, SM Hadi Hosseini, Audrey Bowden - A low-cost, wearable, do-it-yourself functional near-infrared spectroscopy (DIY-fNIRS) headband, HardwareX **10** (2021) e00204.
7. Aarati Vagga, Swapnil Aherrao, Harshawardhan Pol, Vivek Borkar - 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 (2021).
8. Nguyễn Bin, Các Quá trình và Thiết bị Công nghệ hóa học & Thực phẩm, Tập 4: Phân riêng dưới tác dụng của nhiệt, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2008).

9. 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, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2006).
10. 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, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2006).
11. Rober E. Treybal - Mass tranfer operations, Mc Graw Hill Book Company, Singapore (2003).
12. Carl L. Yaws - Chemical properties handbook: Physical, thermodynamic, environmental, transport, safety and health related properties for organic and inorganic chemicals, McGraw Hill, USA (1999).
13. Hồ Lê Viên - Tính toán thiết kế các chi tiết thiết bị hóa chất và dầu khí, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2006).
14. Phạm Thị Ngọc Yên, Ngô Hữu Tình, Lê Tấn Hùng, Nguyễn Thị Lan Hương - Cơ sở MATLAB và ứng dụng, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2005).

ABSTRACT

SIMULATION OF CACULATING AND DESIGNING DISTILLATION TOWER

Ho Tan Thanh*, Nguyen Ngoc Cat Tuong
Ho Chi Minh City University of Food Industry
*Email: *thanhht@hufi.edu.vn*

This article focuses on showing calculation and design procedure for distillation tower and simulation this process on MATLAB software. Mixture type, concentration, flow rate and tower type are important factors that are great influence to result. Simulating on MATLAB software would help shorten time for calculation and design, giving results as soon as any parameter changes.

Keywords: Distillation, simulation, calculation, design, MATLAB.