

# NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT ĐỘNG HỌC THÁP CHUNG CẤT DẦU KHÍ

PGS.TS. NGUYỄN ĐỨC KHOÁT, ThS. PHẠM THỊ THANH LOAN  
 Trường Đại học Mỏ-Địa Chất

**T**háp chưng cất là thành phần quan trọng nhất trong dây chuyền công nghệ của ngành công nghiệp dầu khí và lọc hóa dầu. Sự hiểu biết về các trạng thái làm việc của nó là một yêu cầu cơ bản đối với các kỹ sư điều khiển và kỹ sư hóa dầu. Bài báo này cung cấp một số kết quả nghiên cứu động học, các chế độ hoạt động, làm cơ sở cho việc thiết kế hệ thống điều khiển tháp chưng.

Một tháp chưng hai sản phẩm điển hình với cấu trúc LV (H.1): F - Lưu lượng cấp [kmol/min];  $z_F$  - Thành phần nguồn cấp [mole fraction];  $q_F$  - Phần lỏng trong nguồn cấp; D và B - Lưu lượng sản phẩm đỉnh và đáy [kmol/min];  $y_D$  và  $x_B$  - Sản phẩm đỉnh và đáy tháp [mole fraction];  $L=L_T=L_N$  - Lưu lượng hồi lưu [kmol/min];  $V=V_B=V_1$  - Lưu lượng hơi cấp nhiệt [kmol/min]; N - Số đĩa lý thuyết bao gồm cả nồi tái đun;  $N_{tot}=N + 1$  - Tổng số đĩa (bao gồm cả bình ngưng);  $L_i$  và  $V_i$  - Lưu lượng lỏng và hơi từ đĩa thứ i [kmol/min];  $x_i$  và  $y_i$  - Thành phần lỏng và hơi trên đĩa [mole fraction];  $M_i$  - Trữ lượng lỏng trên đĩa i [kmol];  $\alpha$  - Độ bay hơi tương đối;  $\tau_L$  - Hằng số thời gian cho động học dòng lỏng trên mỗi đĩa [min];  $\lambda$  - Hệ số ảnh hưởng của dòng hơi lên dòng lỏng [3]. Các dữ liệu của tháp được cho trong Bảng 1. Các đĩa được đánh số từ đáy lên đỉnh, trong đó nồi tái đun là đĩa thứ nhất ( $i=1$ ). Ký hiệu j được sử dụng cho các thành phần.  $j=L$  (cấu tử nhẹ);  $j=H$  (cấu tử nặng).

Bảng 1. Các thông số dữ liệu của tháp chưng cất [5]

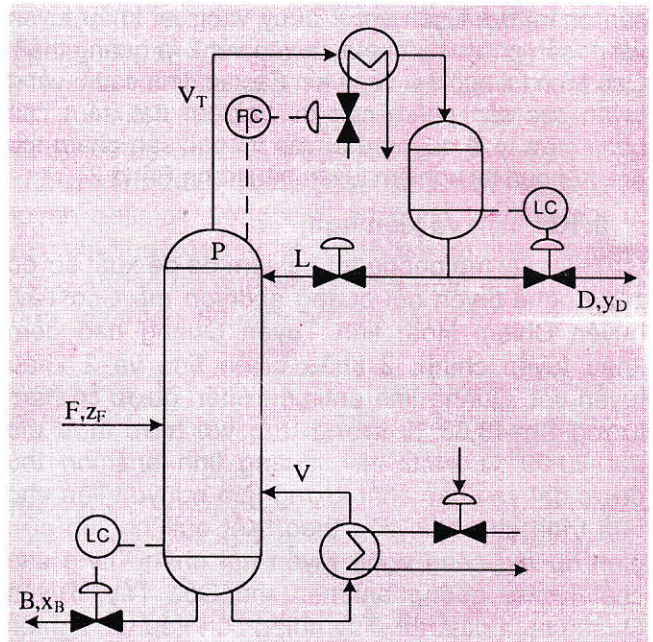
N	$N_{tot}$	$N_F$	F	$z_F$	$q_F$	D
40	41	21	1	[0; 0,5; 0,5; 0]	1	0,5
L	V	$y_D$	$x_B$	$\alpha$	$M_i$	$\tau_L$
2,706	3,206	0,91	0,09	[3; 2; 1,5; 1]	0,5	0,063

## 1. Mô hình tháp chưng

### 1.1. Mô hình tháp chưng

Tháp chưng có 40 đĩa lý thuyết bao gồm nồi tái đun (đĩa 1) và bình ngưng (đĩa 41). Các giả thiết: 4 cấu tử; cấu tử thứ 4 là thành phần nặng; độ bay hơi tương đối không đổi; không có trữ lượng hơi;

một nguồn cấp, hai sản phẩm; lưu lượng mol không đổi (lưu lượng hơi trên các đĩa là như nhau); động học dòng lỏng được mô hình hóa bởi phương trình Francis; ngưng tụ hoàn toàn.



H.1. Sơ đồ nguyên lý tháp chưng cất với cấu trúc LV

Phương trình cân bằng lỏng-hơi cho tháp đa cấu tử (Stichlmair-Fair, 'Distillation', p.36, 1998):

$$\alpha = \frac{y/(1-y)}{x/(1-x)} \Rightarrow y_i = \frac{\alpha x_i}{1 + (\alpha - 1)x_i} \quad (1)$$

Giả thiết lưu lượng mol không đổi [3]:

$$i=1:NT-1 \quad V(i)=VB \quad (2)$$

$$i = NF:NT-1 \quad V(i)=V(i)+(1-q_F)*F \quad (3)$$

Lưu lượng được cho bởi công thức của Francis (trữ lượng tổng=trữ lượng trên gờ + trữ lượng dưới gờ chảy tràn) [3]:

$$L(i)=K*Mow(i)^{1.5} \quad (4)$$

Lưu lượng chất lỏng của bình ngưng [3]:

$$L(NT)=LT \quad (5)$$

Phương trình cân bằng vật chất thành phần và toàn phần [3]:

$$dMdt(j)=L(j+1)-L(j)+V(j-1)-V(j). \quad (6)$$

$$dMxdt(i, j) = L(j + 1) * x(i, j + 1) - L(j) * x(i, j) + \quad (7)$$

$$V(j - 1) * y(i, j - 1) - V(j) * y(i, j)$$

Tại đĩa cấp liệu [3]:

$$dMdt(NF)=dMdt(NF)+F. \quad (8)$$

Nồi tái đun [3]:

$$dMdt(1)=L(2)-V(1)-B. \quad (9)$$

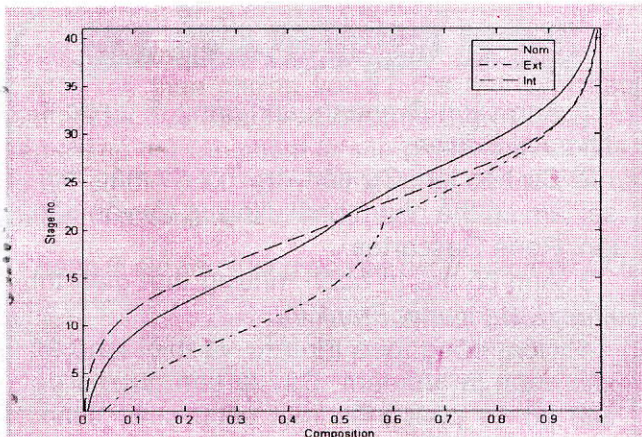
Bình ngưng [3]:

$$dMdt(NT)=V(NT-1)-LT-D. \quad (10)$$

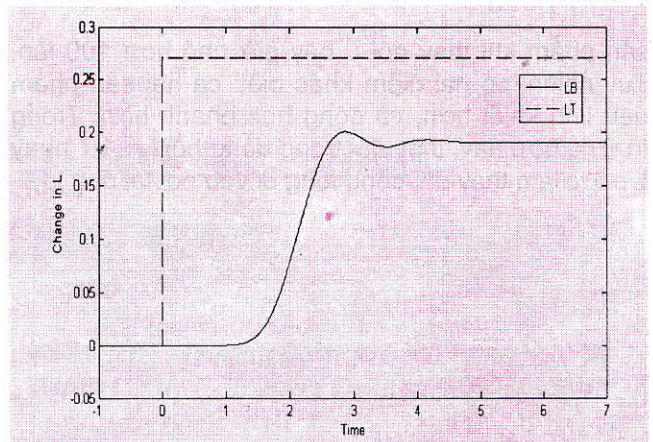
**1.2. Điểm làm việc xác lập (H.2)**

Ảnh hưởng của dòng ngoài: tăng L lên 0,02, giảm D xuống 0,02 với V không đổi. Toàn bộ thành phần của các đĩa đã bị thay đổi, vì thế bây giờ tháp chứa nhiều cấu tử nhẹ hơn, có nghĩa là sản phẩm đáy sẽ bị giảm độ tinh khiết (với nhiều cấu tử nhẹ) và sản phẩm đỉnh sẽ tinh khiết hơn (nhiều cấu tử nhẹ). Ảnh hưởng của dòng trong: khi tăng cả L và V lên 1 với D không đổi. Với sự thay đổi lớn hơn 50 lần so với thay đổi của dòng ngoài nhưng sự ảnh hưởng tăng không đáng kể. Nó thay đổi độ dốc của đường cong và làm cho cả hai sản phẩm đều tinh khiết hơn. Trong trường hợp này, cấu tử nhẹ được chuyển nội bộ từ đáy tháp lên trên đỉnh tháp, tuy nhiên tổng thành phần của nó hầu như không đổi.

Như vậy là sự thay đổi dòng ngoài có ảnh hưởng lớn hơn nhiều lên thành phần của cấu tử và làm cho một sản phẩm tinh khiết hơn và một sản phẩm kém tinh khiết hơn. Sự thay đổi dòng trong thì có ảnh hưởng ngược lại. Cũng có sự khác nhau cơ bản khi thay đổi dòng trong và dòng bên ngoài đối với đáp ứng động: sự thay đổi của dòng ngoài tương ứng với hằng số thời gian lớn của tháp, trong khi đó thay đổi của dòng trong nhanh hơn nhiều. Điều này có thể giải thích trong thực tế chúng ta cần thay đổi trữ lượng tổng của mỗi cấu tử trong tháp khi thay đổi lưu lượng ngoài, điều này làm mất nhiều thời gian.



H.2. Đáp ứng của sản phẩm đỉnh với thay đổi của dòng trong và dòng ngoài



H.3. Động học dòng lỏng của tháp chưng

**1.3. Động học dòng lỏng của tháp (H.3)**

Vì mô hình tháp bao gồm động học dòng lỏng, nghĩa là trữ lượng lỏng trên các đĩa không phải hằng số. Lưu lượng lỏng tại đĩa thứ i được tính như sau [3]:

$$L_i = L_{0i} + (M_i - M_{0i})/\tau_L + (V_{i-1} - V_{0,i-1})\lambda. \quad (11)$$

Trong đó:  $L_{0i}$  [kmol/min] và  $M_{0i}$  [kmol] là giá trị danh định của lưu lượng lỏng và trữ lượng lỏng trên đĩa i.

Điều này có nghĩa là phải mất một khoảng thời gian  $\theta_L=(N-1) \cdot \tau_L=39 \cdot 0,063=2,46$  [min] từ khi thay đổi dòng lỏng trên đỉnh ( $L_T$ ) cho tới khi dòng lỏng chảy xuống nồi tái đun ( $L_B$ ) bị thay đổi. Điều này rất tốt cho điều khiển vì đáp ứng ban đầu (cao tần) được tách ra. Nếu bộ điều khiển được xây dựng đủ nhanh thì chúng ta có thể tránh được sự tương tác mạnh giữa thành phần ở đỉnh và đáy tháp tồn tại ở chế độ xác lập

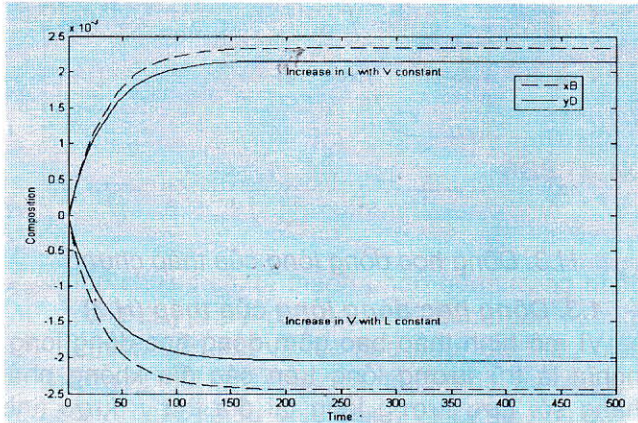
**1.4. Đáp ứng động**

Đáp ứng động được khảo sát với cấu trúc LV: hồi lưu L và hơi cấp nhiệt V là hai biến độc lập để điều khiển thành phần sản phẩm đỉnh và đáy.

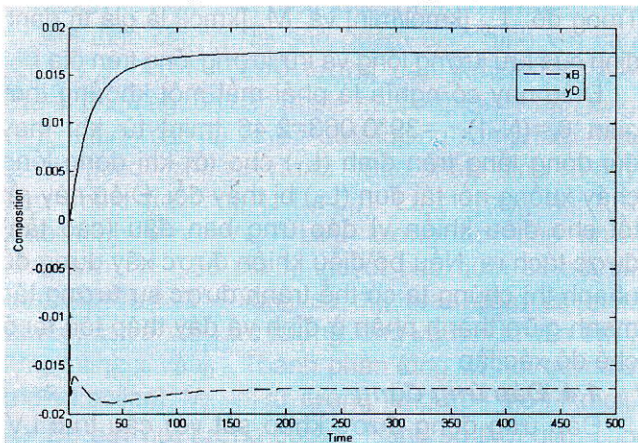
*Đáp ứng động với thay đổi dòng ngoài:* Một sự thay đổi nhỏ trong các dòng ngoài cũng gây ra ảnh hưởng lớn tới thành phần sản phẩm. Trong H.4 (đường trên) mô tả sự thay đổi của thành phần sản phẩm khi tăng L lên 0,0027 (khoảng 0,1 %) với V không đổi, giảm D từ 0,5 xuống 0,4973. Tại trạng thái tĩnh: yD tăng từ 0,912 lên khoảng 0,914 và xB tăng từ 0,09 lên 0,0924. Đáp ứng khá chậm với hằng số thời gian khoảng 194 phút. Tương tự, nếu tăng V một lượng tương tự với L không đổi thì ảnh hưởng lên thành phần sản phẩm gần như tương tự nhưng theo chiều ngược lại (H.4).

*Đáp ứng động với thay đổi dòng trong:* Đồng thời tăng L và V khoảng 0,27 (10 %), nghĩa là D và B được giữ không đổi (ít nhất ở trạng thái xác lập). Trong H.4 ta mong muốn rằng thay đổi trong L và V sẽ chống lại nhau (H.5). Ảnh hưởng lên thành phần

sản phẩm khi thay đổi L bây giờ nhỏ hơn 100 lần. Tuy nhiên, có hai điểm khác biệt: cả hai sản phẩm đều tinh khiết hơn, và động học nhanh hơn. Trong trường hợp này, thay đổi trong dòng hồi lưu LT ngay lập tức làm thay đổi dòng lỏng đi vào nồi tái đun LB.



H.4. Thay đổi dòng ngoài: tăng 0.1 % L và V riêng biệt



H.5. Thay đổi của dòng trong: tăng 10 % L và V với D không đổi

2. Kết luận

Bài báo đã trình bày một số vấn đề có liên quan đến chế độ hoạt động của tháp chưng cất liên tục, bao gồm: Xác định điểm làm việc xác lập, khảo sát động học dòng lỏng, ảnh hưởng của lưu lượng dòng trong và dòng ngoài tới chất lượng sản phẩm. Nghiên cứu giới hạn trong tháp chưng cất hai sản phẩm với nguồn cấp 4 cấu tử. Tuy nhiên, nó có thể được mở rộng dễ dàng với các tháp đa cấu tử liên tục khác. Từ kết quả đạt được, người đọc có thể có được cái nhìn sâu sắc về đối tượng như: Các chế độ hoạt động, chế độ xác lập, chế độ động, đáp ứng động, ảnh hưởng của dòng trong và dòng ngoài đến sản phẩm trong tháp, từ đó thiết kế hệ thống điều khiển phù hợp và áp dụng một cách hiệu quả vào thực tế sản xuất. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Arbel, A., I.H. Rinard and R. Shinnar (1996). Dynamics and control of fluidized catalytic crackers. Ind. Eng. Chem, Res, pp. 2215-2233.
2. Michael A. Johnson & Mohammad H. Moradi, PID Control, New Identification and Design Methods-Printed in United State of America.
3. Shinkey, F.G. (1994), Distillation Control. 2 ed ..McGraw-Hill Book Company.
4. Shinnar, R. (1997). Chemical reactor modelling for purposes of controller design. Cheng. Eng. Commun. pp. 73-99.
5. Skogestad S., Postletwaite I. "Multivariable Feedback Control.", John Wiley, 1996.
6. Nguyễn Phùng Quang, Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2002.

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

This paper presents some important topics for the dynamic of distillation columns, including a treatment of the steady-state operation. The issues covered the separation factors, logarithmic compositions, external and internal flows, initial composition response. From the simulation results for multi-component distillation column with two products, readers can analyze and predict relationships in practice, as a basis for designing optimal control system to improve the quality as well as performance of the distillation column.

THÀNH QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

1. Anh càng đi nhanh, anh càng đi được ít. *Thomas Edison.*
2. Cứ tiến lên. Cứ tiến lên. Tôi đã mắc mọi sai lầm có thể phạm phải. Nhưng tôi vẫn tiến lên. *René Descartes.*
3. Anh có thể trì hoãn, nhưng thời gian thì không. *Benjamin Franklin.*
4. Hoạt động theo trình tự và thiết lập các xác nhận là nên làm. Đây là con đường để tiến bộ và phát triển một cách chắc chắn. *Gottfried Wilhelm Leibniz.*

VTH sưu tầm