

MỘT ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ CỦA DÒNG PHUN RỐI XOÁY HAI PHA KHÔNG ĐẲNG NHIỆT TRONG BUỒNG ĐỐT

Nguyễn Thanh Hào ⁽¹⁾, Nguyễn Thanh Nam ⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM, ⁽²⁾ Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 17 tháng 02 năm 2005)

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu một ứng dụng của mô hình mô phỏng số quá trình cháy dầu FO trong thiết bị vòi phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt để xác định các thông số hình học (L, D) của ngọn lửa phục vụ cho quá trình thiết kế buồng đốt mà nếu sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm thì công việc đòi hỏi tiêu tốn rất nhiều thời gian và chi phí.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ảnh hưởng của xoáy lên dòng lưu chất đã được biết đến từ nhiều năm trước. Các nghiên cứu về dòng xoáy được ứng dụng trong nhiều ngành kỹ thuật như trong cyclone, các thiết bị phun dùng trong nông nghiệp, các thiết bị trao đổi nhiệt [1,2]... Ứng dụng quan trọng nhất của dòng xoáy trong công nghiệp có lẽ là các thiết bị buồng đốt của turbines, lò hơi, động cơ đốt, lò nung trong công nghiệp và một số chủng loại thiết bị khác. Thông thường dòng xoáy có tác dụng làm tăng mức độ rối trong buồng đốt, điều này đồng nghĩa với việc làm tăng hiệu quả hoà trộn giữa không khí và nhiên liệu. Bên cạnh đó, vì nhiệt trị của dầu FO khá cao, giá thành rẻ cho nên ngày nay việc sử dụng năng lượng nhiệt từ việc đốt dầu FO là khá phổ biến. Tuy nhiên, để đốt được dầu FO cần phải dùng thiết bị sấy và phun để phun dầu thành những hạt bụi nhỏ vào trong buồng đốt, đường kính hạt dầu càng bé thì quá trình cháy càng tốt. Do vậy việc phun dầu thành những hạt bụi là rất quan trọng. Có thể phun dầu bằng bơm áp lực cao, bằng hơi nước hoặc khí nén có áp suất cao... kết hợp với việc tăng nhanh quá trình khuếch tán hỗn lưu và đối lưu giữa hơi dầu với không khí bằng cách tạo dòng xoáy đảm bảo cho dòng dầu sau miệng phun dễ dàng bắt lửa.

Mô phỏng số quá trình cháy dầu FO trong thiết bị vòi phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt giúp cho quá trình nghiên cứu buồng đốt thuận lợi hơn. Khi đó căn cứ vào các thông số hình học (L, D) của mô hình ngọn lửa được mô phỏng ta có thể thay đổi một cách dễ dàng các thông số hình học của buồng đốt. Trong khi với phương pháp nghiên cứu thực nghiệm thì công việc này đòi hỏi tiêu tốn rất nhiều thời gian và chi phí.

2. MÔ HÌNH SỐ MÔ PHỎNG DÒNG PHUN RỐI XOÁY HAI PHA KHÔNG ĐẲNG NHIỆT TRONG BUỒNG ĐỐT

Quá trình cháy nhiên liệu dầu FO xuất phát từ các phản ứng hoá học với giả thiết rằng sự va chạm giữa các phân tử dầu FO với nhau là không đáng kể. Do đó, với phương trình động học của các phản ứng hoá học cùng với các phương trình liên tục và phương trình bảo toàn năng lượng, ta sẽ có được hệ phương trình mô tả quá trình cháy của dòng phun dầu FO rối xoáy không đẳng nhiệt. Mô hình toán của ngọn lửa trong buồng buồng đốt dầu FO được xây dựng trên cơ sở các phương trình Reynolds đối với dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt, phương trình hệ số hỗn hợp cháy f , đồng thời kết hợp với các phương trình xác định điều kiện biên. Các phương trình này được biến đổi để trở thành các phương trình của đường dòng ψ và cường độ xoáy Ω cho ta hệ phương trình vi phân.

Hệ phương trình biểu diễn dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt dưới dạng không thứ nguyên trong hệ tọa độ trụ, với tọa độ của các điểm được xác định bằng các vector bán kính r , dọc trục z và góc tâm θ , có thể được viết dưới dạng tổng quát sau [4]:

$$a_{\varphi} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\varphi \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\varphi \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[b_{\varphi} \cdot r \cdot \frac{\partial (c_{\varphi} \cdot \varphi)}{\partial z} \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[b_{\varphi} \cdot r \cdot \frac{\partial (c_{\varphi} \cdot \varphi)}{\partial r} \right] + r \cdot d_{\varphi} = 0 \quad (1)$$

Trong đó các giá trị của biến số φ và các hệ số a_{φ} , b_{φ} , c_{φ} , d_{φ} được xác định trong bảng sau:

φ	a_φ	B_φ	C_φ	d_φ
ψ	0	$1/(\rho.r^2)$	1	$-\Omega$
Ω	R^2	R^2	μt	$-r \cdot \frac{\partial}{\partial r}(\rho.w^2) - r \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right) \cdot \frac{\partial \rho}{\partial r} +$ $+ r^2 \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right) \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z}$
W	1	$\mu.r^2$	$1/r^2$	0
F	1	$\mu t/Pr$	1	0

u : vận tốc theo phương dọc trục;

v : vận tốc theo phương hướng kính.

$$u = \frac{1}{\rho.r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} \tag{2}$$

$$v = -\frac{1}{\rho.r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z} \tag{3}$$

w : vận tốc theo phương tiếp tuyến;

ψ : hàm của đường dòng.

Ω : cường độ xoáy;

μ : độ nhớt hỗn lưu.

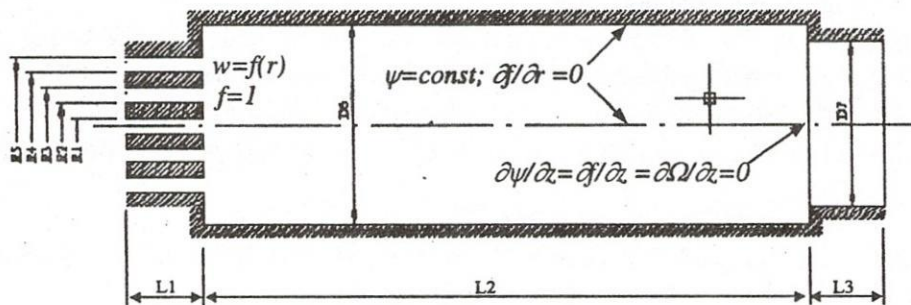
ρ : mật độ hỗn hợp cháy;

f : hệ số hỗn hợp

Pr : hệ số Prandtl;

C_p : nhiệt dung riêng đẳng áp của hỗn hợp cháy

Và các điều kiện biên được xác định như trên hình 1.



Hình 1 - Điều kiện biên

Trong đó:

R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 : lần lượt là bán kính các chi tiết của thiết bị phun; L_1, L_2, L_3 : lần lượt là các kích thước trong buồng đốt; D_0 : đường kính buồng đốt.

Điều kiện biên phía tây:

$$f = 1; w = f(r) \tag{4}$$

Điều kiện biên phía đông:

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\partial f}{\partial z} = \frac{\partial \Omega}{\partial z} = 0 \tag{5}$$

Điều kiện biên thành rắn: giá trị hàm của đường dòng ψ không đổi, tỷ sai phân của biến f theo phương hướng kính r bằng không, ta có: $\psi = const$

$$\frac{\partial f}{\partial r} = 0 \tag{6}$$

Điều kiện biên đối xứng: giá trị hàm của đường dòng ψ không đổi, tỷ sai phân của biến f theo phương hướng kính r bằng zero.

Phương trình tổng quát (1) được giải bằng phương pháp khối hữu hạn, sau khi đã rời rạc hoá phương trình vi phân tổng quát (1) ta có hệ các phương trình đại số tuyến tính. Sử dụng thuật toán ma trận ba đường chéo kết hợp với phương pháp lặp để giải bài toán.

Việc tính toán được tiến hành trên máy tính, chương trình tính toán được xây dựng bằng phần mềm Matlab. Trong đó giá trị của các thông số cơ bản chính là giá trị tại các điểm nút của lưới sai phân trong quá trình tính toán giải hệ phương trình dòng phun rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt.

Các kết quả tính toán được tiến hành trong trường hợp buồng đốt đầu FO rối xoáy có các thông số hình học như sau:

$$R1 = 0,3 \text{ mm}; R2 = 2,5 \text{ mm}; R3 = 3,0 \text{ mm}; R4 = 3,3 \text{ mm}; R5 = 3,6 \text{ mm}$$

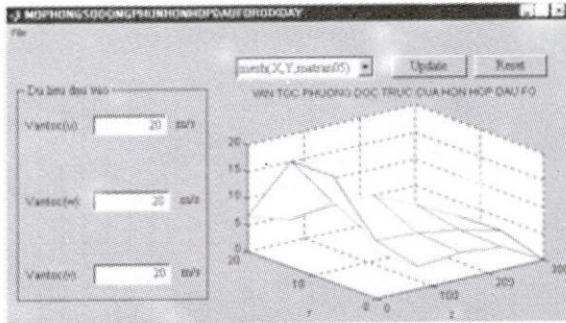
$$R6 = 500 \text{ mm}; R7 = 500 \text{ mm}; L1 = 200 \text{ mm}; L2 = 3000 \text{ mm}; L3 = 500 \text{ mm}$$

Các thành phần vận tốc ban đầu (u_0, v_0, w_0) được xác định từ kết quả thực nghiệm tại tiết diện ban đầu:

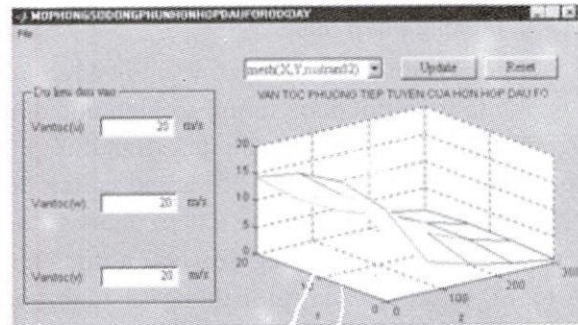
$$u_0 = 20 \text{ m/s}; w_0 = 20 \text{ m/s}; v_0 = 20 \text{ m/s}$$

Bước lưới được chọn là:

$$dz = 1; dr = 1$$



Hình 2 - Đồ thị phân bố vận tốc u theo phương dọc trục của hỗn hợp dầu FO rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt với vận tốc ban đầu $u_0 = 20\text{m/s}$



Hình 3 - Đồ thị phân bố vận tốc w theo phương tiếp tuyến của hỗn hợp dầu FO rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt với vận tốc ban đầu $u_0 = 20\text{m/s}$

Kết quả tính toán trên hình 2&3 cho thấy đồ thị phân bố vận tốc u theo phương dọc trục và vận tốc w theo phương tiếp tuyến của hỗn hợp dầu FO rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt với vận tốc ban đầu $u_0 = 20 \text{ m/s}, w_0 = 20 \text{ m/s}$ là những đường cong giảm dần về phía biên và càng ra xa thì vận tốc của dòng phun càng giảm.

3. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ XÂY DỰNG BIỂU ĐỒ XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC (L, D) CỦA NGỌN LỬA BUỒNG ĐỐT ĐẦU FO

Từ các đồ thị mô phỏng trên đây, ứng với mỗi bộ giá trị vận tốc ban đầu (u_0, v_0, w_0) ta đều có thể xác định các thông số hình học (L, D) của ngọn lửa, từ đó có thể chọn các thông số hình học phù hợp nhất của buồng đốt đảm bảo cho quá trình cháy sạch.

Xét trường hợp vận tốc tại miệng phun $U = 28,28 \text{ m/s}$

$$\Rightarrow u = 28,28 \text{ m/s}; w = 0 \text{ m/s}$$

Tra theo đồ thị mô phỏng số ta có: $D = 0,95 \text{ m}; L = 5,1 \text{ m}$

Xét trường hợp vận tốc tại miệng phun $U = 21,21 \text{ m/s}$

$$\Rightarrow u = 21,21 \text{ m/s}; w = 0 \text{ m/s}$$

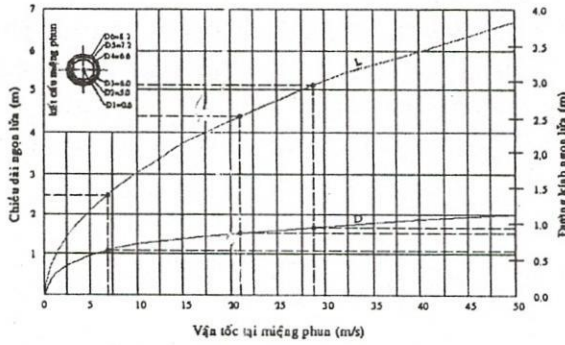
Tra theo đồ thị mô phỏng số ta có: $D = 0,8 \text{ m}; L = 4,4 \text{ m}$

Xét trường hợp vận tốc tại miệng phun $U = 7,07 \text{ m/s}$

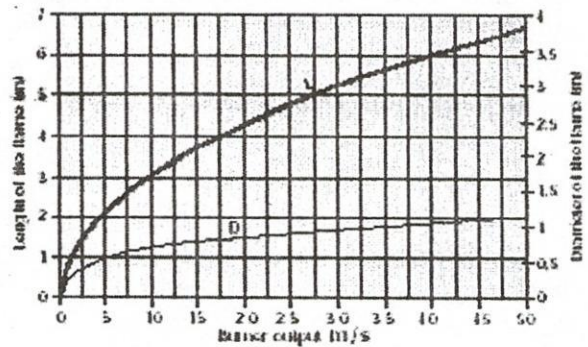
$$\Rightarrow u = 7,07 \text{ m/s}; w = 0 \text{ m/s}$$

Tra theo đồ thị mô phỏng số ta có: $D = 0,6 \text{ m}$; $L = 2,5 \text{ m} \dots$

Từ các giá trị tính toán trên ta xây dựng được biểu đồ quan hệ giữa thông số động học và thông số hình học của ngọn lửa như trên hình 4. Mặt khác, theo nghiên cứu của Riello Burners [3], quan hệ giữa thông số động học và thông số hình học trong buồng đốt không xoáy ($S = 0$) có dạng như hình 5.



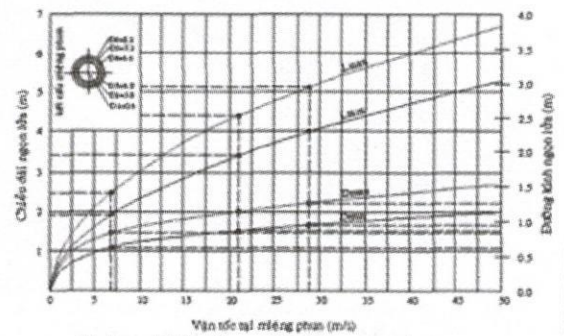
Hình 4 - Biểu đồ quan hệ giữa vận tốc và kích thước ngọn lửa trong buồng đốt khi hệ số cường độ xoáy $S = 0$



Hình 5 - Biểu đồ quan hệ giữa vận tốc và kích thước ngọn lửa trong buồng đốt không xoáy của Riello Burners

So sánh kết quả tính toán (hình 4) và kết quả nghiên cứu của Riello Burners (hình 5) cho thấy sai lệch giữa chúng là không đáng kể. Điều này khẳng định độ tin cậy khi xác định các thông số hình học bằng phương pháp tính.

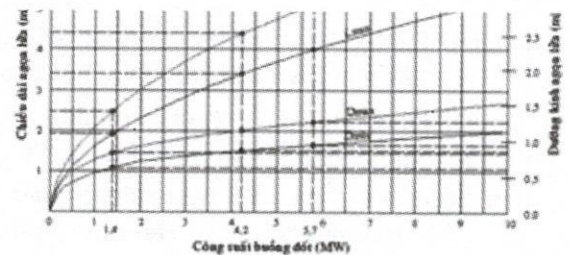
Như vậy, ứng với thông số vận tốc đầu vào (u_0, v_0, w_0) ta luôn tìm được thông số hình học đầu ra (L, D) tương ứng phục vụ cho quá trình thiết kế buồng đốt và bằng cách thay đổi hệ số cường độ xoáy $S = w/u_0$ (thay đổi vận tốc u theo phương dọc trục và vận tốc w theo phương tiếp tuyến trong mô hình toán), ta có thể thay đổi thông số hình học ngọn lửa (hình 6). Tính toán trên cũng cho thấy khi hệ số cường độ xoáy S lớn thì chiều dài ngọn lửa giảm dần, đường kính ngọn lửa tăng dần, quá trình hoà trộn giữa nhiên liệu và không khí đồng đều, do đó quá trình cháy càng mãnh liệt và cháy kiệt.



Hình 6 - Biểu đồ quan hệ giữa vận tốc và kích thước ngọn lửa trong buồng đốt ($S = 0$ và $S = 1$)

Kết quả tính toán trên cũng có thể chuyển về biểu đồ quan hệ giữa công suất và kích thước ngọn lửa trong buồng đốt với mỗi loại dầu đốt nhất định như trình bày trên hình 7.

Như vậy, ứng với công suất thiết kế cho trước, tra biểu đồ hình 7 ta tìm được kích thước ngọn lửa trong buồng đốt, từ đó suy ra kích thước buồng đốt tương ứng đảm bảo cho quá trình cháy sạch đối với thiết bị đốt dầu FO rối xoáy.



Hình 7 - Biểu đồ quan hệ giữa công suất và kích thước ngọn lửa trong buồng đốt ($S = 0$ và $S = 1$)

4. KẾT LUẬN:

Có thể nói mô hình số mô phỏng dòng phun dầu FO rối xoáy hai pha không đẳng nhiệt là một công cụ cung cấp thông tin một cách tương đối chính xác về các thông số động học và hình học của ngọn lửa trong lĩnh vực kỹ thuật buồng đốt dầu FO. Qua đó có thể đưa ra đề xuất cải tiến các chi tiết liên quan đảm bảo cho quá trình cháy sạch.

Công trình nhận được sự hỗ trợ quý báu từ chương trình nghiên cứu cơ bản, Bộ Khoa học và Công nghệ. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

AN APPLICATION OF THE NUMERICAL SIMULATION OF TWO-PHASE NON-ISOTHERMAL SWIRLING TURBULENT JETS IN COMBUSTION CHAMBER

Nguyen Thanh Hao ⁽¹⁾, Nguyen Thanh Nam ⁽²⁾

⁽¹⁾University of Industry - HCMC, ⁽²⁾University of Technology - VNU-HCM

ABSTRACT: *The paper presented an application of the numerical simulation two-phase non-isothermal swirling turbulent jets of fuel in combustion chamber for geometrical parameters (L,D) defining, which are necessary for combustion chamber design, while it will take much times and costs if we use an experimental data for combustion chamber design.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. K. Gupta - D. G. Lilley - N. Syred, *Swirl Flows*, Department of Mechanical Engineering University - 1984.
- [2]. M. Luc Vervisch - M. Pierre Sagaut, *Large Eddy Simulations of Flow and Mixing in Jets and Swirl Flow Application to a Gas Turbine*, CERFACS, Toulouse, France, september 2000.
- [3]. Riello Burners. Three Stage Heavy Oil Burners. RIELLO S.p.A. - Via degli Alpini, 1 - 37045 LEGNAGO (VR) Italy. Tel. ++39.0442630111 - Fax ++39.044221980. Internet: <http://www.rielloburners.com>.
- [4]. Nguyễn Thanh Hào, *Study the process of burning FO fuel in swirling turbulent combustion chamber*, M.Sc Thesis, HCMUT 2004.