

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ VỀ QUÁ TRÌNH CHÁY TRONG ĐỘNG CƠ DIESEL**  
**A NUMERICAL SIMULATION STUDY OF BURNING PROCESS IN DIESEL**  
**ENGINE COMBUSTION CHAMBER**

**ThS. NGUYỄN VĂN DUY, TS. LÊ VĂN ĐIỂM**  
*Khoa Máy tàu biển, Trường ĐHHH*

**Tóm tắt**

*Bài báo mô tả cơ sở thuật toán mô phỏng quá trình cháy trong buồng đốt động cơ diesel. Một ví dụ tính toán với việc ứng dụng bằng thử ORACLES được chỉ ra. Kết quả nghiên cứu bằng phương pháp số được so sánh với một số kết quả thực nghiệm khác.*

**Abstract**

*This article presents the basics of mathematics to simulate burnt process in combustion chamber of diesel engine. A calculation example with the use of ORACLES is also shown. The simulation result was compared with other experimental studies.*

**1. Giới thiệu**

“Dòng chảy” là vấn đề rất phức tạp, nó bao hàm những lý thuyết về dòng chảy rối, lý thuyết cháy.... Vì thế mô phỏng số về quá trình cháy đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn và cần có cơ sở khoa học để đánh giá kết quả tính toán. Tác giả sử dụng phần mềm thương mại Fluent kết hợp với lập trình tính toán để làm rõ ý nghĩa việc nghiên cứu mô phỏng số về quá trình cháy. Đây là bài toán ứng dụng phổ biến trong công nghiệp hàng hải như nghiên cứu về nồi hơi, động cơ diesel tàu thủy v.v...

**2. Cơ sở toán học**

**2.1. Mô hình dòng rối**

Tất cả mô hình rối đều xuất phát từ 2 phương trình cơ bản là phương trình liên tục và phương trình động lượng. Với dòng rối, hai phương trình này được viết lại như sau [2]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i u_j}) \tag{2}$$

Với  $u_i$  và  $u_j$  là các mạch động (chênh lệch giữa vận tốc tức thời và vận tốc trung bình).

Hai phương trình này chưa đủ khép kín để giải tất cả các ẩn (3 ẩn  $u_i, u_j$  và  $-\overline{\rho u_i u_j}$ ), do vậy cần phải tìm thêm các phương trình liên quan để hệ phương trình có thể giải được. Tùy theo dạng phương trình thêm, mà có thể có các phương pháp giải khác nhau.

Một trong các phương pháp là sử dụng mô hình k-ε.

Trong mô hình k-ε, các phương trình được thêm vào như sau:

Theo giả thiết và độ nhớt rối của Boussinesq, ta có:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \tag{3}$$

Phương trình thể hiện mối quan hệ giữa ứng suất Reynolds  $-\overline{\rho u_i u_j}$  với biến thiên vận tốc trung bình. Để giải phương trình này người ta khép kín nó bằng các phương trình liên quan đến năng lượng rối động học k và hệ số tổn thất ε như sau:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (5)$$

-  $G_k$  là hằng số thể hiện sự phụ thuộc của sự hình thành năng lượng rối động học ( $k$ ) vào sự biến thiên của vận tốc trung bình,  $G_k$  được tính theo công thức sau:

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}, \quad G_b \text{ là hằng số, được xác định như sau: } G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i},$$

Trong đó:  $Pr_t$ : hằng số Prantl;  $G_i$ : thành phần gia tốc trọng trường theo phương  $i$ ;  
 $\beta$ : hệ số giãn nở nhiệt của môi trường,

-  $Y_M$  là hệ số thể hiện sự biến thiên của quá trình giãn nở so với giá trị trung bình:

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2, \text{ với } M_t \text{ là trị số Mach của dòng rối, } M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \text{ (a là vận tốc âm),}$$

$$\mu_t \text{ là hệ số nhớt rối: } \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon},$$

- Các hệ số còn lại là các hằng số với các giá trị mặc định như sau:

$$C_{1\varepsilon} = 1,44; C_{2\varepsilon} = 1,92; C_\mu = 0,09; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3.$$

Kết hợp các phương trình trên sẽ khép kín bài toán để xác định các ẩn cần tìm (bắt đầu là trường vận tốc). Mô hình  $k - \varepsilon$  là tiện lợi và cho kết quả khá chính xác.

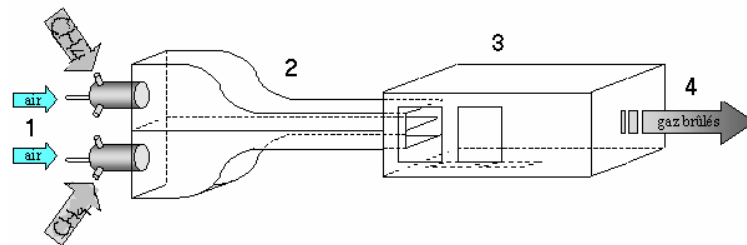
### 2.2. Mô hình cháy trong Fluent:

Fluent là phần mềm rất mạnh trong tính toán dòng chảy, cháy và truyền nhiệt. Về mô hình cháy, thường sử dụng 3 mô hình là:

Cháy không trộn lẫn trước; Cháy trộn lẫn trước; Cháy trộn lẫn trước một phần.

Nội dung cũng như ưu nhược điểm của mỗi mô hình được mô tả trong tài liệu [3]

### 3. Mô hình toán và phân tích kết quả



Hình 1. Mô hình bằng thử ORACLES [2].

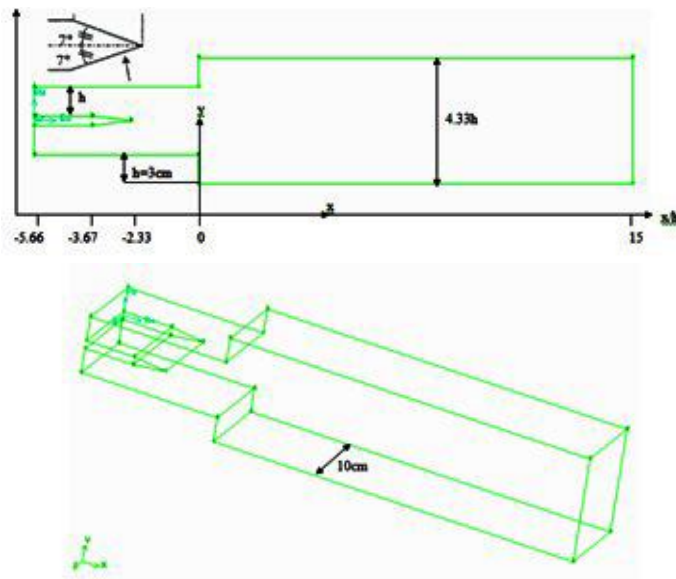
Thiết bị bằng thử gồm 4 phần chính (hình 1):

+ Phần 1: Gồm 2 buồng trộn nhiên liệu, và không khí;

+ Phần 2: Là hai kênh dẫn dài 3m để hình thành dòng rối phát triển hoàn toàn trước khi vào buồng cháy;

- + Phần 3: Buồng cháy mở rộng đột ngột là nơi diễn ra quá trình cháy dài khoảng 3 m;
- + Phần 4: Hệ thống xả khí đã cháy.

Dựa trên các kích thước chính của băng thử, ta xây dựng mô hình tính toán và điều kiện biên như sau:



Hình 2. Mô hình tính toán và điều kiện biên.

Bảng số liệu tính toán.

		Tên trường hợp	Vận tốc dòng vào 2 kênh dẫn ( $u_1=u_2$ ) (m/s)	Số Reynolds	$\Phi_1$ (kênh dẫn dưới)	$\Phi_2$ (kênh dẫn trên)
Dòng trơ (không cháy)		i1	10	20690	0.9	0.9
Đánh lửa (2 vị trí, đối xứng)	Dòng trơ (không cháy)	ri1	10	20690	0.9	0.9
		ri2	10	20690	0.6	0.6
	Đánh lửa (2 vị trí, đối xứng)	rs1	10	20690	0.9	0.9
		rs2	10	20690	0.7	0.9
		rs3	10	20690	0.3	0.9

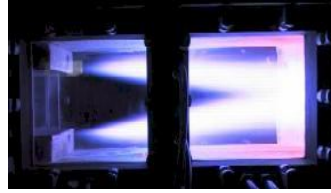
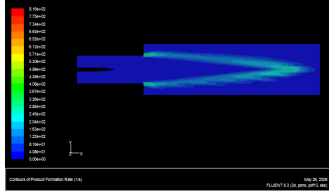
Trong đó:  $\Phi_1$  là kênh dẫn dưới,  $\Phi_2$  là kênh dẫn trên

#### Phân tích kết quả

Để thấy rõ ý nghĩa của việc nghiên cứu bằng phương pháp số về quá trình cháy, tác giả đã tiến hành tính toán cho nhiều trường hợp giả định khác nhau (dựa theo bảng trên). Từ đó đánh giá kết quả để khẳng định tính đúng đắn của phương pháp. Trong giới hạn của bài báo này tác giả đưa ra một số kết quả tính toán sau:

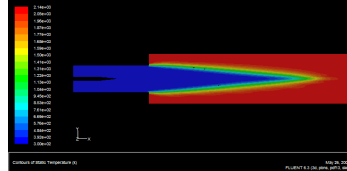
- + Trường hợp ri1:

Hình ảnh ngọn lửa giữa tính toán và thực nghiệm



**Hình 3. Ngọn lửa tính toán và thực nghiệm trong trường hợp ri1.**

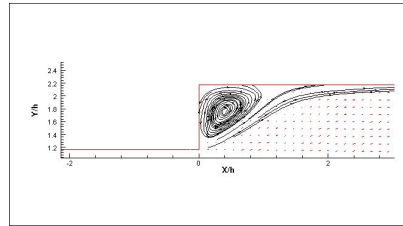
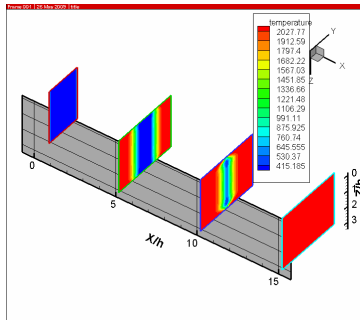
Trường vận tốc khí cháy ban đầu và trường nhiệt độ



**Hình 4. Trường vận tốc và nhiệt độ.**

Ta thấy trường vận tốc đối xứng, có sự tăng tốc dòng khí do sự cháy bắt đầu từ bề mặt ngọn lửa. Vận tốc ra lớn nhất là 41m/s tức là gấp khoảng 4 lần vận tốc vào. Ngoài ra, còn tồn tại 2 vùng chảy ngược (màu xanh đậm), nhiệt độ cao nhất là 2140 K và ngọn lửa có dạng hình côn.

Để thấy rõ hơn có thể tách kết quả trường nhiệt độ theo các mặt phẳng dọc buồng đốt và hình ảnh đường dòng tại nơi chảy ngược (Hình 5).



**Hình 5. Phân bố nhiệt dọc theo buồng đốt & đường dòng tại góc chảy ngược.**

Ngoài ra, việc sử dụng mô hình trên cho phép xây dựng bổ xung các mô đun để phân tích khí thải hoặc các thông số cần quan tâm khác của quá trình cháy.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã đưa ra được các kết quả nghiên cứu số về quá trình cháy như trường vận tốc, nhiệt độ, hình ảnh ngọn lửa, đường dòng. Từ đây ta có thể mở rộng bài toán để nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình này, đặc biệt trong động cơ diesel tàu thủy như nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ phun, khe hở piston-xylanh, tổn thất nhiệt, chất lượng nhiên liệu hay phân tích khí thải của động cơ ở các chế độ vận hành khác nhau.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GS.TS. Lê Viết Lượng, *Lý thuyết động cơ diesel*. NXB Giáo dục. Hà Nội 2004.
- [2]. Besson, M., et al., 2000 Experimental analysis of combustng flows developing over a plane symmetric expansion. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 14(1), 59-67.
- [3]. www.Fluent.com

**Người phản biện: TS, Vũ Văn Duy**