

# NGHIÊN CỨU SỰ PHÁT TRIỂN TIA PHUN DIESEL TRONG BUỒNG CHÁY ĐỘNG CƠ DUAL FUEL BIOGAS – DIESEL VỚI THÀNH PHẦN CH<sub>4</sub> KHÁC NHAU

## RESEARCH ON DEVELOPING DIESEL JETS IN COMBUSTION CHAMBER DUAL FUEL BIOGAS – DIESEL ENGINE WITH DIFFERENT CH<sub>4</sub> INGREDIENTS

Nguyễn Việt Hải<sup>1</sup>, Bùi Văn Ga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>2</sup>Bộ Giáo dục và Đào tạo, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 09/02/2017, ngày phản biện đánh giá 23/4/2017, ngày chấp nhận đăng 02/10/2017

### TÓM TẮT

Quá trình bay hơi của tia nhiên liệu diesel trong môi trường hỗn hợp không khí-biogas được mô phỏng nhờ phần mềm CFD FLUENT. Kết quả cho thấy khi phun diesel trong cùng điều kiện nhiệt độ, bay hơi của tia trong môi trường không khí gần với bay hơi của nó trong môi trường CO<sub>2</sub> ở áp suất thấp, nhưng gần với bay hơi trong môi trường CH<sub>4</sub> ở điều kiện áp suất cao. Trong môi trường hỗn hợp không khí-biogas, bay hơi của tia phun diesel phụ thuộc vào tỉ lệ CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> trong nhiên liệu. Trong cùng điều kiện phun và thành phần khí trong hỗn hợp, bay hơi của tia diesel giảm khi áp suất buồng cháy tăng, nhưng tăng mạnh khi tăng nhiệt độ của hỗn hợp trong buồng cháy. Cùng một lượng phun diesel cung cấp vào buồng cháy, khi tăng lưu lượng phun thì tốc độ bay hơi của hạt nhiên liệu diesel tăng. Do đó, để cải thiện quá trình bay hơi và đánh lửa của động cơ dual fuel biogas-diesel chúng ta nên rút ngắn thời gian nhưng tăng lưu lượng phun.

**Từ khóa:** Động cơ lưỡng nhiên liệu biogas-diesel; phun diesel; hóa hơi tia phun; mô phỏng sự phun; CFD.

### ABSTRACT

Simulation of vaporization of diesel jets in air-biogas mixture is carried out with CFD software FLUENT. The results show that at the same temperature, injection of diesel jets in air approaches its vaporization in CO<sub>2</sub> at low pressure but approaches its vaporization in CH<sub>4</sub> in high pressure. In biogas-air mixture, vaporization of diesel jet depends on CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> ratio in the fuel. In the same injection conditions and mixture components, vaporization of diesel jets decreases as pressure increases but it increases sharply when the temperature of the mixture in the combustion chamber goes up. With the same diesel quantity injected into combustion chamber, vaporization increases as jet flow goes up.

**Keywords:** Biogas-diesel dual fuel engine; diesel injection; vaporization of diesel jet; injection simulation; CFD.

## 1. GIỚI THIỆU

Quá trình đánh lửa động cơ dual fuel biogas-diesel có thể giả định nhờ nguồn nhiệt hình trụ [1], [2]. Giả định này dẫn đến sai lệch nhất định giữa mô phỏng và thực nghiệm trên động cơ dual fuel [3]. Để thể hiện rõ hơn bản chất quá trình đánh lửa của

loại động cơ này nhằm tối ưu hóa quá trình công tác, chúng ta cần xem xét quá trình đánh lửa và cháy của tia phun mỗi diesel.

Sự phát triển tia phun diesel trong môi trường không khí đã được nghiên cứu tường tận và đã trở thành kinh điển trong các tài

liệu về động cơ đốt trong. Chất lượng quá trình cháy trong động cơ diesel phụ thuộc nhiều vào tốc độ bay hơi của hạt nhiên liệu. Quá trình bay hơi phụ thuộc vào điều kiện lý hóa trong buồng cháy và điều kiện phun. Sự phân bố kích thước hạt nhiên liệu trong tia phun, đường kính trung bình của hạt nhiên liệu là các thông số vật lý ảnh hưởng đến quá trình bay hơi hạt nhiên liệu. Cơ chế tạo hạt được không chế bởi mức độ rối (phụ thuộc vào số Reynolds), tương tác khí động học giữa tia phun và môi trường lưu chất và sức căng bề mặt. Ảnh hưởng của lực khí động học và sức căng bề mặt được biểu diễn thông qua số Weber của dòng chảy, số này không chế cơ chế hình thành hạt trong tia [4]. Tia phun trong động cơ diesel bị phân rã thành hạt theo cơ chế ma sát và phá vỡ. Tốc độ phun và áp suất trong buồng cháy ảnh hưởng đến có chế này [5].

Để có được các thông tin liên quan đến nồng độ nhiên liệu, người ta sử dụng các phương pháp đo quang học dựa trên kỹ thuật laser. Các phương pháp này cũng nhận dạng được pha hơi của nhiên liệu [6]. Nếu pha vào nhiên liệu chất theo dấu phù hợp thì các pha lỏng và khí có thể nhận dạng được nhờ phát xạ ở các bước sóng khác nhau [7], [8], [9]. Mật độ khối lượng ảnh hưởng mạnh đến độ xuyên thấu của tia phun: mật độ khối lượng tăng, độ xuyên thấu giảm mạnh [10]. Nhiệt độ môi chất tăng làm giảm độ xuyên thấu của tia, nhưng nhiệt độ nhiên liệu trong tia không ảnh hưởng lớn đến độ xuyên thấu so với những thông số khác [11].

Trong những cấu hình kỹ thuật phức tạp và nhỏ gọn như trong buồng cháy động cơ đốt trong, việc nghiên cứu bằng thực nghiệm hết sức khó khăn và khó có thể tổng quát hóa nghiên cứu trong những trường hợp khác nhau. Mô phỏng sự phát triển của tia phun rất phù hợp trong dự báo các quá trình khí động lực học diễn ra trong tia làm nền tảng nghiên cứu quá trình cháy khuếch tán.

Mô phỏng sự phát triển của tia phun dựa trên dự đoán dịch chuyển của các hạt trong tia phun bằng tích phân lực tác động lên các hạt này. Sự phân tán của hạt do dao động rối

có thể được mô hình hóa bằng mô hình đám mây hạt. Sự phân tán rối của hạt quanh quỹ đạo trung bình được tính toán theo phương pháp thống kê. Mật độ hạt quanh quỹ đạo trung bình được đặc trưng bởi hàm mật độ xác suất Gauss mà mạch động của nó dựa vào độ phân tán của hạt do mạch động rối. Quỹ đạo trung bình nhận được bằng cách giải phương trình trung bình tổng thể mô tả sự chuyển động của tất cả các hạt hiện diện trong đám mây.

Mô hình đám mây hạt được xây dựng dựa vào phương pháp thống kê xác suất để xác định sự phân tán của hạt trong môi trường rối xung quanh quỹ đạo trung bình. Quỹ đạo trung bình được tính toán trên cơ sở trung bình các phương trình vận chuyển hạt có mặt trong đám mây. Đám mây đi vào vùng tính toán từ điểm nguồn. Đám mây dẫn nở ra do quá trình rối từ đầu vào đến đầu ra. Sự phân bố hạt trong đám mây được xác định nhờ phương trình mật độ xác suất dựa trên vị trí của đám mây tương đối so với tâm của nó. Giá trị mật độ xác suất thể hiện khả năng tìm thấy hạt trong đám mây với thời gian tồn tại tại vị trí xi trong dòng chảy. Giá trị trung bình của mật độ xác suất, hay tâm của đám mây, tại thời điểm cho trước biểu diễn vị trí nhiều khả năng tồn tại nhất của hạt trong đám mây.

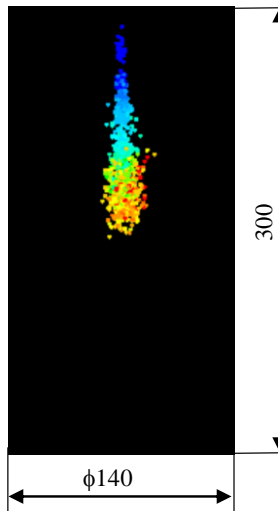
Bay hơi bắt đầu khi nhiệt độ hạt đạt đến nhiệt độ bốc hơi và tiếp tục đến khi hạt nhiên liệu đạt đến điểm sôi hay đến khi toàn bộ những chất bay hơi trong hạt bốc hơi hoàn toàn. Trong công trình này, chúng tôi tập trung nghiên cứu mô phỏng sự phát triển của tia phun diesel trong buồng cháy động cơ sử dụng nhiên liệu biogas có thành phần CH<sub>4</sub> khác nhau bằng phần mềm FLUENT.

## 2. ĐIỀU KIỆN BIÊN SỬ DỤNG TRONG MÔ PHỎNG

### - Điều kiện hỗn hợp

Mô phỏng sự bay hơi của hạt nhiên liệu trong tia phun diesel được thực hiện nhờ phần mềm Fluent. Buồng cháy nghiên cứu được giả định có dạng hình trụ có đường kính 140mm và chiều cao 300mm (thể tích 4,62lít). Hỗn hợp môi chất trong buồng cháy

gồm không khí và biogas. Nhiên liệu biogas được ký hiệu  $MxCy$  ( $x\%$   $CH_4$  và  $y\%$   $CO_2$  theo thể tích). Như vậy hỗn hợp khí trong buồng cháy trước khi phun nhiên liệu diesel gồm:  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  và  $N_2$ . Trong tính toán thành phần hỗn hợp được mô phỏng tương tự như thành phần hỗn hợp cung cấp cho động cơ dual fuel biogas-diesel.



Hình 1. Kích thước buồng cháy mô phỏng

Trong phần này chúng ta nghiên cứu sự phát triển tia phun diesel trong hỗn hợp biogas-không khí với hai nhiên liệu biogas khác nhau được ký hiệu M8C2 (biogas chứa 80%  $CH_4$ , 20%  $CO_2$  theo thể tích) và M6C4 (biogas chứa 60%  $CH_4$  và 40%  $CO_2$  theo thể tích).

Để đốt cháy hoàn toàn 1g  $CH_4$  ta cần 4g  $O_2$ . Trong hỗn hợp biogas-không khí, thành phần khối lượng  $O_2$  xấp xỉ trên 20%, do đó thành phần khối lượng  $CH_4$  có thể chọn xấp xỉ 5%. Do đó thành phần  $CO_2$  trong hỗn hợp 3% và 9% theo thứ tự ứng với nhiên liệu M8C2 và M6C4.

Thành phần hỗn hợp tính toán cho bởi bảng 1 (tính theo % khối lượng):

Bảng 1. Thành phần hỗn hợp tính toán (tính theo % khối lượng)

	$CH_4$	$CO_2$	$O_2$	$N_2$
M8C2	5	3	21	71
M6C4	5	9	20	66

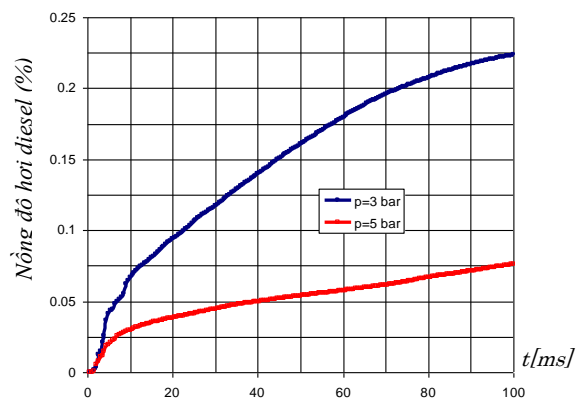
- Điều kiện tia phun.

Buồng cháy sử dụng trong tính toán mô phỏng có thể tích 4,62lít. Lượng không khí này có thể dùng để đốt cháy hoàn toàn 0,4g diesel. Trong tính toán ta chọn lưu lượng nhiên liệu ra khỏi vòi phun là 0,01kg/s và 0,005kg/s. Thời gian phun là 5ms, do đó lượng nhiên liệu diesel phun vào buồng cháy tương ứng là 0,05g và 0,025g tức chiếm 12,5% và 6,25% lượng nhiên liệu diesel cực đại có thể phun vào buồng cháy.

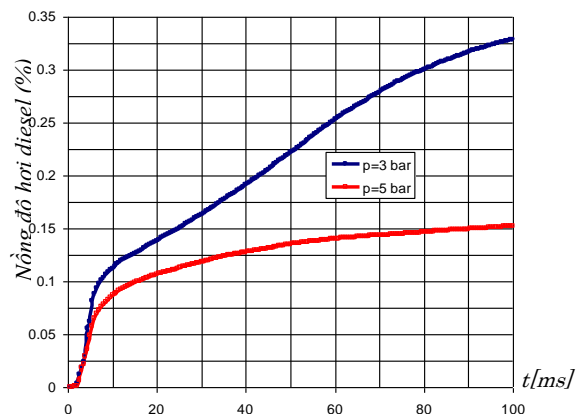
### 3. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của áp suất buồng cháy

Các hình 2, hình 3 giới thiệu biến thiên nồng độ hơi nhiên liệu diesel trong buồng cháy chứa hỗn hợp biogas-không khí. Chúng ta thấy trong các điều kiện như nhau, khi áp suất trong buồng cháy tăng lên thì nồng độ hơi nhiên liệu trong buồng cháy giảm.

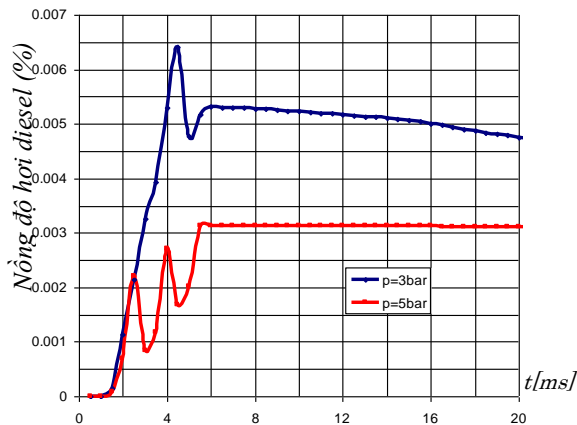


Hình 2. Ảnh hưởng của áp suất buồng cháy đến sự phát triển của tia phun ứng với M6C4,  $T=450K$ ,  $Q=0,01kg/s$

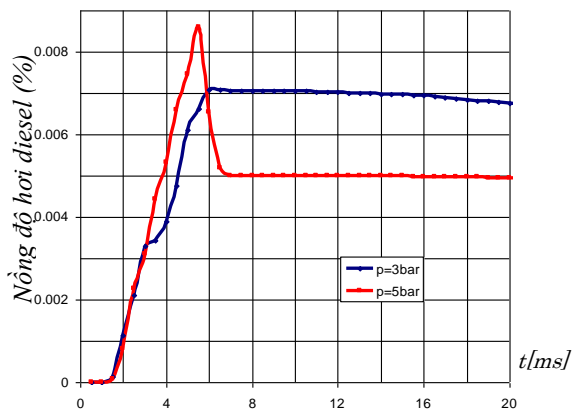


Hình 3. Ảnh hưởng của áp suất buồng cháy đến sự phát triển của tia phun ứng với M8C2,  $T=450K$ ,  $Q=0,01kg/s$

Ảnh hưởng của áp suất trong buồng cháy đến quá trình bay hơi của hạt nhiên liệu diesel có thể giải thích rõ ràng hơn trên các hình 4 và hình 5 về biến thiên mật độ hạt  $\text{kg/m}^3$  theo thời gian. Kết quả mô phỏng cho thấy sau khi kết thúc phun, mật độ hạt trong trường hợp  $p=5\text{bar}$  gần như ổn định trong khi đó trong trường hợp  $p=3\text{bar}$ , mật độ hạt tiếp tục giảm do các hạt tiếp tục bay hơi.



**Hình 4.** Ảnh hưởng của áp suất trong buồng cháy đến biến thiên mật độ hạt nhiên liệu diesel theo thời gian ứng với M6C4,  $T=450\text{K}$ ,  $Q=0,01\text{kg/s}$

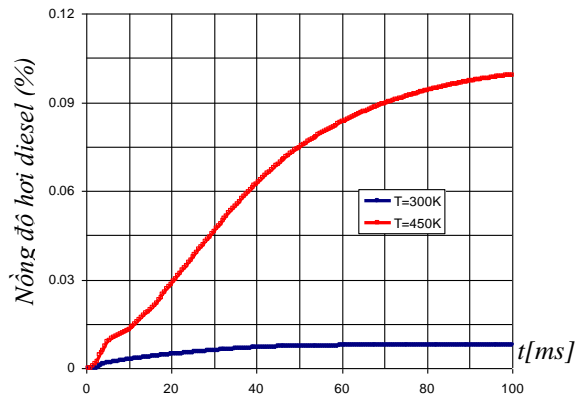


**Hình 5.** Ảnh hưởng của áp suất trong buồng cháy đến biến thiên mật độ hạt nhiên liệu diesel theo thời gian ứng với M8C2,  $T=450\text{K}$ ,  $Q=0,01\text{kg/s}$

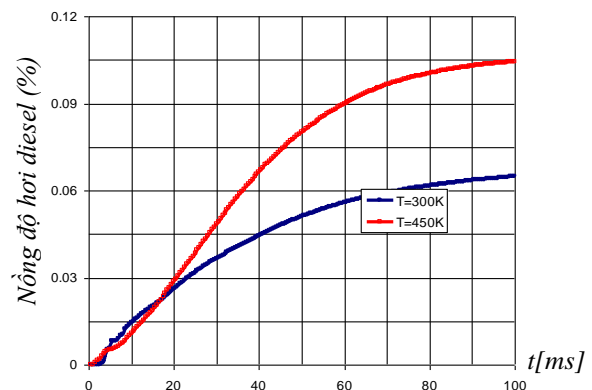
### 3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ hỗn hợp đến sự phát triển của tia phun

Khi nhiệt độ hỗn hợp biogas-không khí tăng cao thì nồng độ hơi nhiên liệu diesel trong hỗn hợp cũng tăng theo do nhiên liệu bốc hơi nhanh ở nhiệt độ cao. Kết quả mô phỏng từ hình 6, hình 7 cho thấy ở nhiệt độ

thấp, nồng độ hơi nhiên liệu đạt giá trị bão hòa sớm hơn ở nhiệt độ cao. Nồng độ hơi nhiên liệu ổn định không có nghĩa là tất cả các thành phần có mặt trong hạt nhiên liệu đã bay hơi hết mà chỉ có những thành phần có nhiệt độ bay hơi thấp hơn nhiệt độ môi chất trong buồng cháy bay hơi.



**Hình 6.** Ảnh hưởng của nhiệt độ môi chất trong buồng cháy đến biến thiên nồng độ hơi nhiên liệu theo thời gian ứng với M6C4,  $p=3\text{bar}$ ,  $Q=0,005\text{kg/s}$

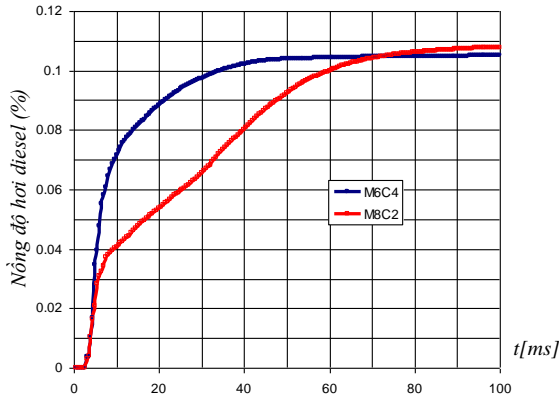


**Hình 7.** Ảnh hưởng của nhiệt độ môi chất trong buồng cháy đến biến thiên nồng độ hơi nhiên liệu theo thời gian ứng với M8C2,  $p=3\text{bar}$ ,  $Q=0,005\text{kg/s}$

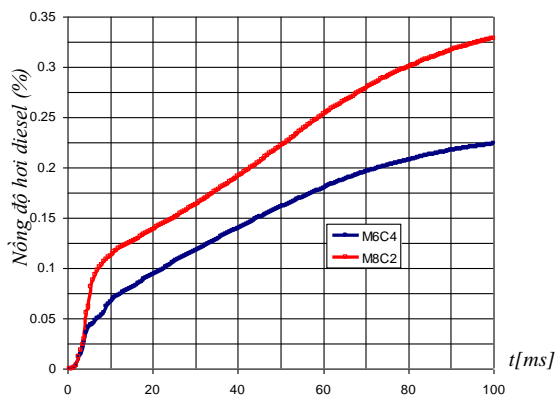
### 3.3. Ảnh hưởng của nhiên liệu biogas

Hình 8, hình 9 giới thiệu ảnh hưởng của nhiên liệu biogas đến nồng độ hơi nhiên liệu diesel trong buồng cháy.

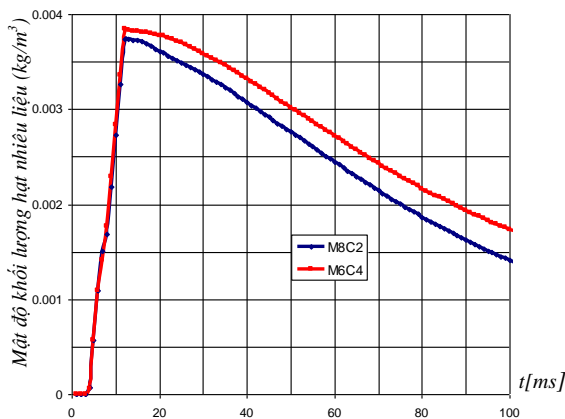
Hình 10 giới thiệu biến thiên mật độ hạt nhiên liệu diesel trong buồng cháy ở cùng điều kiện nhiệt độ, áp suất và điều kiện phun nhưng với biogas M8C2 và M6C4. Kết quả mô phỏng cho thấy mật độ hạt trong trường hợp M6C4 cao hơn mật độ hạt trong trường hợp M8C2.



**Hình 8.** Ảnh hưởng của nhiên liệu biogas đến nồng độ hơi diesel  
 ( $p=3bar, Q=0,01kg/s, T=300K$ )



**Hình 9.** Ảnh hưởng của nhiên liệu biogas đến nồng độ hơi diesel  
 ( $p=3bar, Q=0,01kg/s, T=450K$ )

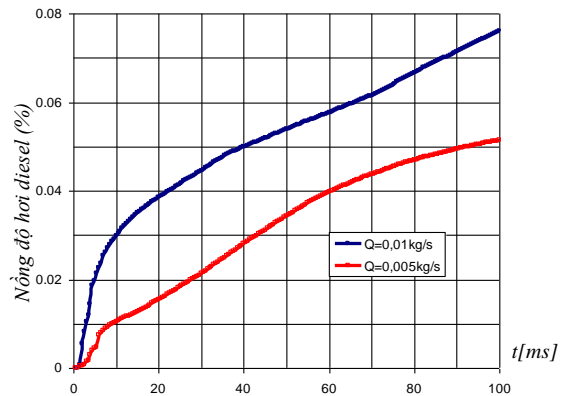


**Hình 10.** Ảnh hưởng của nhiên liệu đến biến thiên mật độ hạt nhiên liệu trong buồng cháy  
 ( $p=3bar, T=450K, Q=0,005kg/s$ )

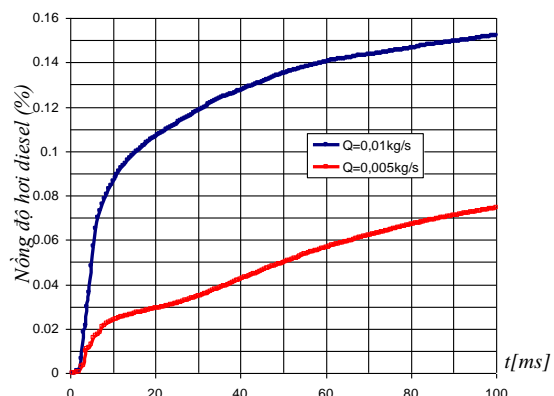
Như vậy khi thành phần  $CH_4$  trong biogas tăng không những cải thiện được quá trình cháy mà còn cải thiện được tình trạng bay hơi của tia phun diesel dẫn đến cải thiện chất lượng đánh lửa bằng tia phun môi.

### 3.4. Ảnh hưởng của lưu lượng phun

Ảnh hưởng của lưu lượng phun đến biến thiên nồng độ hơi diesel theo thời gian được trình bày trên các hình 11, hình 12. Kết quả tính toán cho thấy khi lưu lượng phun tăng thì nồng độ hơi nhiên liệu diesel tại một thời điểm cho trước sau khi phun cũng tăng. Tốc độ tăng nồng độ hơi nhiên liệu khi lưu lượng phun lớn cao hơn tốc độ tăng nồng độ hơi nhiên liệu khi tốc độ phun bé. Do đó để hỗn hợp bay hơi nhanh, tạo điều kiện cho quá trình cháy diễn ra hoàn toàn chúng ta nên tăng lưu lượng phun nhưng giảm thời gian phun để đảm bảo lượng nhiên liệu cung cấp cho một chu trình không thay đổi.



**Hình 11.** Ảnh hưởng của lưu lượng phun đến biến thiên nồng độ hơi nhiên liệu diesel trong buồng cháy (M6C4,  $p=5bar, T=450K$ )



**Hình 12.** Ảnh hưởng của lưu lượng phun đến biến thiên nồng độ hơi nhiên liệu diesel trong buồng cháy (M8C2,  $p=5bar, T=450K$ )

## 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau đây:

- Bay hơi của tia phun diesel trong môi trường không khí gần với môi trường CO<sub>2</sub> ở điều kiện áp suất buồng cháy thấp và gần với môi trường CH<sub>4</sub> ở điều kiện áp suất buồng cháy cao. Ảnh hưởng của hỗn hợp không khí-biogas trong buồng cháy phụ thuộc vào tỉ lệ CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> trong nhiên liệu.

- Trong cùng điều kiện phun và thành phần hỗn hợp môi chất, bay hơi của tia diesel giảm khi áp suất buồng cháy tăng, nhưng

tăng mạnh khi tăng nhiệt độ của hỗn hợp trong buồng cháy. Nồng độ hơi nhiên liệu diesel giảm 2 đến 3 lần khi áp suất tăng từ 3 bar lên 5 bar trong cùng điều kiện nhiệt độ.

- Cùng một lượng phun, khi tăng lưu lượng phun theo thời gian thì tốc độ bay hơi của hạt nhiên liệu diesel tăng. Do đó, để cải thiện quá trình bay hơi và đánh lửa của động cơ dual fuel biogas-diesel chúng ta nên rút ngắn thời gian nhưng tăng lưu lượng phun.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Văn Ga, Lê Minh Tiến, Nguyễn Văn Anh, Võ Anh Vũ, “Mô phỏng quá trình cháy động cơ dual fuel biogas-diesel”, *Tuyển tập Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc*, Phan Rang, 24-26/7/2014, pp. 164-173.
- [2] Bui Van Ga, Tran Van Nam, Le Minh Tien, Bui Thi Minh Tu: Combustion Analysis of Biogas Premixed Charge Diesel Dual Fuelled Engine. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 3 Issue 11, November-2014, pp. 188-194.
- [3] Bùi Văn Ga, Nguyễn Việt Hải, Nguyễn Văn Anh, Võ Anh Vũ, Bùi Văn Hùng, “Phân tích biến thiên áp suất trong động cơ dual fuel biogas-diesel cho bởi mô phỏng và thực nghiệm”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, số 01(86), 2015, pp.24-29.
- [4] Faeth, G.M., Hsiang, L.-P., Wu, P.-K., Structure and Breakup Properties of Sprays, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 21, Suppl. pp. 99-127, 1995.
- [5] Chryssakis, C., Assanis, D.N., A Unified Fuel Spray Breakup Model for Internal Combustion Engine. Applications, *Atomization and Sprays*, Vol. 18, No. 5, pp. 375-426, 2008.
- [6] Zhao H; Ladommatos N (1998) Optical diagnostics for in-cylinder mixture formation measurements in IC engines. *Progr. Energy Combust. Sci.* 24, 297-336.
- [7] Bruneaux G (2005), *Mixing process in high pressure Diesel jets by normalized laser induced exciplex fluorescence – Par I: free jet*, SAE Technical Paper Series 2005-01-2100.
- [8] Kim T; Ghandhi J B (2001), Quantitative 2-D Fuel Vapor Concentration Measurements in an Evaporating Diesel Spray using the Exciplex Fluorescence Method, *SAE Technical Paper Series* 2001-01-3495.
- [9] Payri F; Pastor J V; Pastor J M; Julia J E (2006), Diesel Spray Analysis by Means of Planar Laser-Induced Exciplex Fluorescence, *Intl. J. Eng. Res.* 7, 77-89.
- [10] Arai M., Tabata M., Shimizu M. y Hiroyasu H. (1984) “Disintegrating Process and Spray Characterization of Fuel Jet Injected by a Diesel Nozzle”. SAE Technical Paper 840275.
- [11] Payri F., Desantes J. M. y Arruegle J. (1996) “Characterization of D.I. Diesel Sprays in High Density Conditions”. SAE Technical Paper 960774.

### Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Nguyễn Việt Hải

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

Email: nvhai@dut.udn.vn