

## Nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của pha phối khí đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ xăng một xy lanh cỡ nhỏ

### Simulation study on the effect of timing system to technical features and emissions of a small single-cylinder gasoline engine

Nguyễn Tuấn Nghĩa<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Phi Trường<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Vinh<sup>1</sup>, Trần Đăng Quốc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: [nghtant@hau.edu.vn](mailto:nghtant@hau.edu.vn)

Mobile: 0982456798

---

#### Tóm tắt

##### Từ khóa:

AVL-BOOST; Động cơ xăng một xy lanh; Xupap nạp; Xupap xả

Bài báo này khảo sát thay đổi tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ xăng một xy lanh sử dụng phần mềm mô phỏng AVL-Boot ở các chế độ: tải nhỏ (20% tải), tải trung bình (50%) và tải lớn (90% tải) trong khi động cơ làm việc ở tốc độ 5000 vòng/phút. Các góc mở sớm đóng muộn của xupap nạp và xả được tiến hành thay đổi trong phạm vi từ  $2^0$  đến  $4^0$  so với góc đóng mở nguyên bản. Động cơ hoạt động ở các tốc độ khác nhau mà mỗi tốc độ lại tương ứng với một pha phân phối khí tối ưu đảm bảo cho hệ số nạp đạt cực đại. Chế độ tải nhỏ có góc mở sớm đóng muộn thay đổi nhỏ so với góc đóng mở nguyên bản để tăng tính năng kỹ thuật và giảm phát thải của động cơ. Chế độ tải trung bình vì động cơ được thiết kế để làm việc tốt nhất ở 5000 (vòng/ph) nên các góc nguyên bản là tối ưu. Chế độ tải lớn góc thay đổi lớn so với góc đóng mở nguyên bản để đạt được góc tối ưu của động cơ. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở để cải thiện kết cấu, thiết kế hệ thống điều khiển pha phối khí thông minh dùng cho động cơ một xy lanh, nhằm làm cho động cơ có hiệu năng làm việc cao nhất ở các chế độ tải khác nhau.

---

#### Abstract

##### Keywords:

AVL-BOOST; Single-cylinder gasoline engine; Intake valve; Exhaust valve.

This paper investigate the change of technical features and emission of a single-cylinder gasoline engine using AVL-Bootsimulation software in the following modes: small load (20% load), medium load (50%) and large load (90% load) while the engine working at 5000 rpm. The late intake valve closing and early exhaust valve opening were changed in the range of  $2^0$  to  $4^0$  compared to the original angles. The engine runs at different speeds corresponding to determined optimal air distributions, ensuring peak load factor. In small load mode, the late intake valve closing and early exhaust valve opening have smaller changes than the original angle in order to increase the technical features and reduce engine emissions. In medium load mode, the engine was designed to work best at 5000 rpm, thus the original angle is optimal. In large load mode, the angle underwent major changes compared to the original angle in order to achieve the optimum angle of the engine. The research results serve as the basis for structure improvement and intelligent control system design of single-cylinder engines, in order to achieve optimal performance at different load modes.

---

Ngày nhận bài: 30/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 08/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Đối với động cơ đốt trong, nhằm tăng khả năng nạp đầy mỗi chất mới trong kỳ nạp và thải sạch khí thải trong kỳ thải, người ta thường thiết kế có các góc mở sớm và đóng muộn của các xupap nạp và xả [1],[2]. Tuy nhiên, giá trị các góc mở sớm đóng muộn này thường được tính toán tối ưu cho chế độ hay làm việc của động cơ (thường là chế độ tải trung bình), còn các chế độ khác thì không tối ưu. Nhằm tối ưu hóa tại tất cả các chế độ làm việc của động cơ, thời điểm mở và khoảng thời gian mở các xupap sao cho động cơ hoạt động với hiệu quả cao nhất giảm tối đa mức tiêu tốn nhiên liệu đồng thời khí thải phát ra ít gây ô nhiễm môi trường. Cơ cấu phân phối khí biến thiên linh hoạt là một trong những công nghệ tiên tiến nhằm tối ưu hóa hiệu quả của động cơ được rất nhiều kỹ sư thiết kế động cơ trong nước và trên thế giới nghiên cứu chế tạo. Trên thế giới hệ thống phối khí thông minh ngày càng được phổ biến trên ô tô và được biết đến như: Hệ thống VVT-I của Toyota, hệ thống VTEC của Honda, hệ thống VCT của Ford, hệ thống MIVEC của Mitsubishi...

Hầu hết các đề tài nghiên cứu trong và ngoài nước đều đã có những kết quả nghiên cứu rất bài bản về sự thay đổi của pha phối khí trên ô tô và một số xe máy đời mới. Một trong các phương án đó là thay đổi biên dạng cam [8] hoặc thay đổi thời điểm đóng xupap [6], [7]. Tuy nhiên, tại Việt Nam vẫn còn sử dụng hầu hết các xe máy có cơ cấu phối khí cố định. Việc nghiên cứu thay đổi pha phối khí trên các động cơ này nhằm định hướng cho việc thiết kế cải tiến cơ cấu phối khí nhằm nâng cao hiệu quả làm việc của động cơ cũng như đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải mới sắp được áp dụng. Bên cạnh đó phương pháp mô hình hoá - mô phỏng đã và đang được ứng dụng rộng rãi và ngày càng được cải tiến để phù hợp với xu hướng nghiên cứu mới trong lĩnh vực động cơ đốt trong (ĐCĐT). Việc ứng dụng phần mềm mô phỏng trong quá trình nghiên cứu có tác dụng rút ngắn thời gian nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và chạy thử nghiệm... Ngoài ra, ứng dụng phần mềm mô hình hoá - mô phỏng còn cho phép tối ưu hoá các quá trình công tác, kết cấu ĐCĐT để tối ưu hoá tính kinh tế, hiệu quả và giảm ô nhiễm môi trường.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Động cơ xăng một xy lanh được mô hình hóa và mô phỏng trên phần mềm AVL-Boost và thực hiện tại Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong, Trường ĐHBK Hà Nội.

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là động cơ xe máy của có cơ cấu phối khí cố định với các thông số kỹ thuật được thể hiện trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số kỹ thuật của động cơ xăng một xy lanh

STT	Thông số	Giá trị
1	Dung tích	108 cm <sup>3</sup>
2	Đường kính xy lanh	50 mm
3	Hành trình piston	55 mm
4	Tỉ số nén	11 : 1
5	Công suất tối đa	6.5 kW / 7500 v/ph
6	Mômen xoắn tối đa	9,1Nm / 5500v/ph

### 2.2. Mô hình động cơ xăng một xy lanh

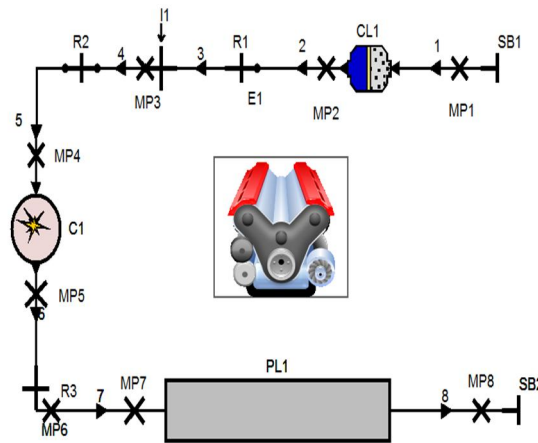
Mô hình động cơ được xây dựng trên cơ sở lý thuyết về các mô hình như: Mô hình cháy; mô trình trao đổi nhiệt; Mô hình nạp thải; Mô hình phát thải... Tất cả các mô hình này đều được

lựa chọn trong phần mềm AVL-Boost. Ngoài ra, dựa vào cấu tạo động cơ thực tế tiến hành lựa chọn và nhập dữ liệu cho các phần tử thuộc mô hình mô phỏng. Số lượng các phần tử của mô hình được trình bày ở bảng 2.

**Bảng 2.** Các phần tử trong mô hình

Tên phần tử	Kí hiệu	Số lượng
Động cơ	E	1
Xylanh	C	1
Lọc gió	CL	1
Vòi phun	I	1
Bình tiêu âm	PL	1
Các điểm đo	MP	8
Phần tử cản	R	3
Điều kiện biên	SB	2
Các đường ống		8

Sau khi kết nối các phần tử ta được một mô hình hoàn chỉnh của động cơ một xylanh được thể hiện trên hình 1.



**Hình 1.** Mô hình động cơ trên phần mềm AVL-Boost

### 2.3. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

Độ tin cậy của mô hình được đánh giá thông qua sự so sánh được đặc tính ngoài về công suất và mô men khi chạy thực tế trên băng thử và trên mô hình mô phỏng. Kết quả được thể hiện trên bảng 3.

**Bảng 3.** So sánh mô men, công suất trong thực nghiệm và mô phỏng

Tốc độ (vg/ph)	Ne		Me		Sai lệch	
	Mô phỏng	Thực nghiệm	Mô phỏng	Thực nghiệm	Ne	Me
3000	2,21	2,16	7,04	6,88	2,31%	2,26%
4000	3,42	3,45	8,17	8,24	-0,87%	-0,88%
5000	4,79	4,85	9,15	9,26	-1,24%	-1,25%
6000	5,74	5,83	9,14	9,28	-1,54%	-1,57%
7000	6,33	6,45	8,64	8,80	-1,86%	-1,90%

Kết quả cho thấy sai lệch lớn nhất về công suất là 2,31%, về mômen là 2,26%. Như vậy, tất cả các sai lệch đều nằm dưới mức cho phép (5%). Do đó, có thể thấy mô hình đảm bảo độ tin cậy.

## 2.4. Chế độ mô phỏng

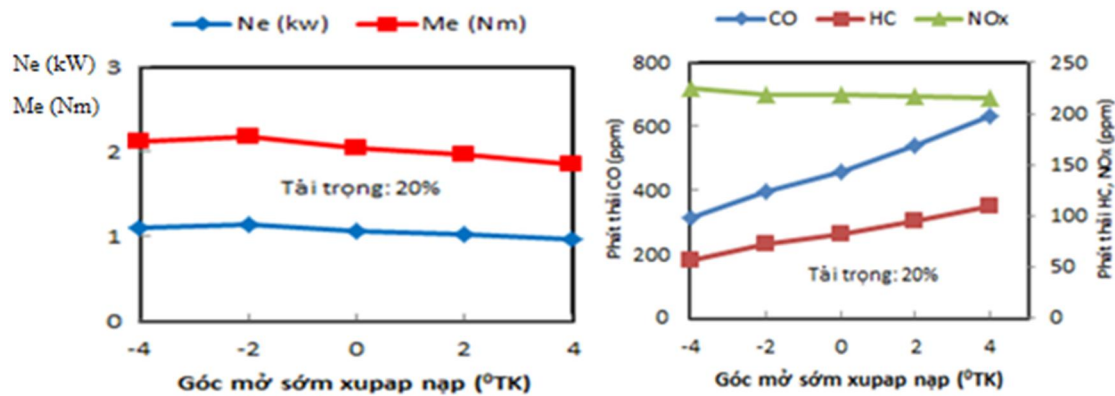
Chế độ mô phỏng được tiến ở 2 chế độ tải (20%, 50% và 90%) tại tốc độ 5000 (vg/ph). Tại mỗi chế độ tiến hành thay đổi góc mở sớm đóng muện xupap so với góc nguyên bản lần lượt từ  $2^0$  đến  $4^0$ .

## 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

### 3.1. Chế độ tải nhỏ

#### 3.1.1. Mở sớm xupap nạp

Kết quả về ảnh hưởng của việc mở sớm xupap nạp đến tính năng kỹ thuật và phát thải được thể hiện trên hình 2.



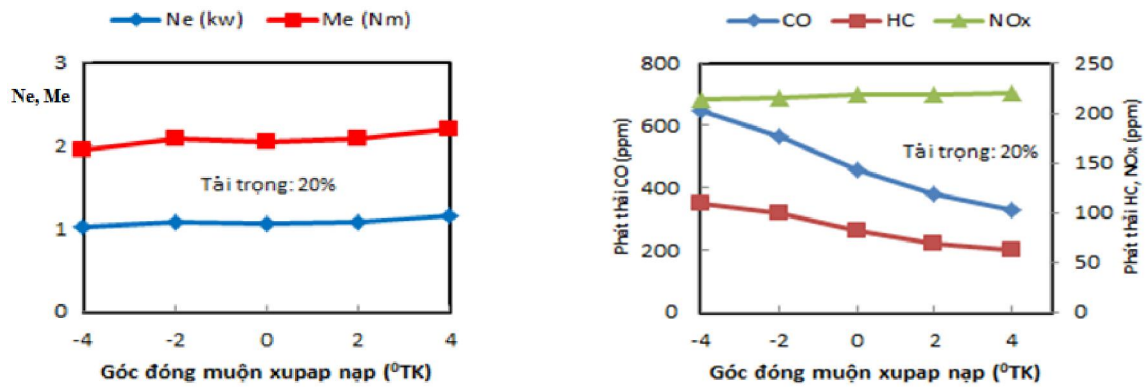
Hình 2. Tính năng kỹ thuật và phát thải khi mở sớm xupap nạp

+ Tính năng kỹ thuật: Kết quả mô phỏng cho thấy công suất và mô men động cơ tăng cao nhất ở góc mở sớm  $2^0$  và giảm ở các góc mở muộn đi so với góc nguyên bản. Điều này có thể được giải thích là khi mở xupap nạp sớm hơn nữa sẽ tạo điều kiện cho việc nạp hỗn hợp nhiều hơn. Tuy nhiên, nếu mở sớm quá ( $4^0$ ) thì không tốt vì góc trùng điệp tăng lên tạo điều kiện cho khí xả quay ngược vào đường nạp.

+ Phát thải: Chế độ tải nhỏ khi mở sớm xupap nạp thì hàm lượng NOx thay đổi không đáng kể, trong khi đó hàm lượng HC và CO giảm nhanh. Điều này có thể được giải thích do hỗn hợp được tiếp xúc với nhiệt độ cao của buồng cháy sớm hơn nên hòa trộn tốt hơn và kết quả hỗn hợp cháy triệt để hơn.

#### 3.1.2. Đóng muộn xupap nạp

Ảnh hưởng của việc đóng muộn xupap nạp được thể hiện trên hình 3.



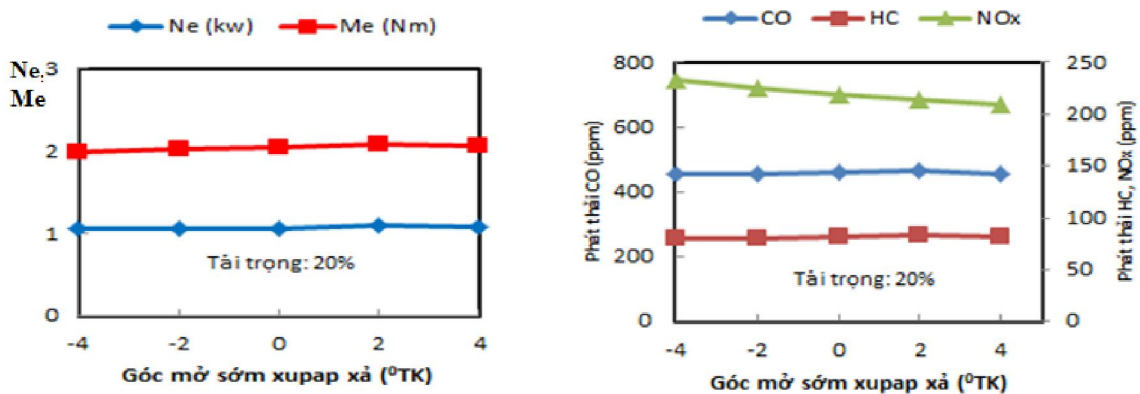
**Hình 3.** Tính năng kỹ thuật và phát thải khí đóng muện xupap nạp

+ Tính năng kỹ thuật: Công suất và mô men tăng lên ít và giảm khi đóng sớm hơn. Trong khoảng đóng sớm  $2^\circ$  và đóng muộn  $2^\circ$  công suất động cơ gần như là không đổi. Khi đóng muộn hỗn hợp khí được nạp thêm vào động cơ làm tăng hiệu suất quá trình cháy.

+ Phát thải: Hàm lượng phát thải khí NO<sub>x</sub> không có biến động. Nhưng cùng với đó, do hỗn hợp khí nạp được vào nhiều, hỗn hợp khí nạp chiếm nhiều không gian buồng cháy hơn và cho chất lượng cháy được cải thiện nên hàm lượng CO và HC trong khí thải giảm nhanh. Đặc biệt là hàm lượng CO giảm tới 25% khi đóng muộn xupap nạp đi  $4^\circ$ .

### 3.1.3. Mở sớm xupap thải

Ảnh hưởng của việc mở sớm xupap thải được thể hiện trên hình 4.



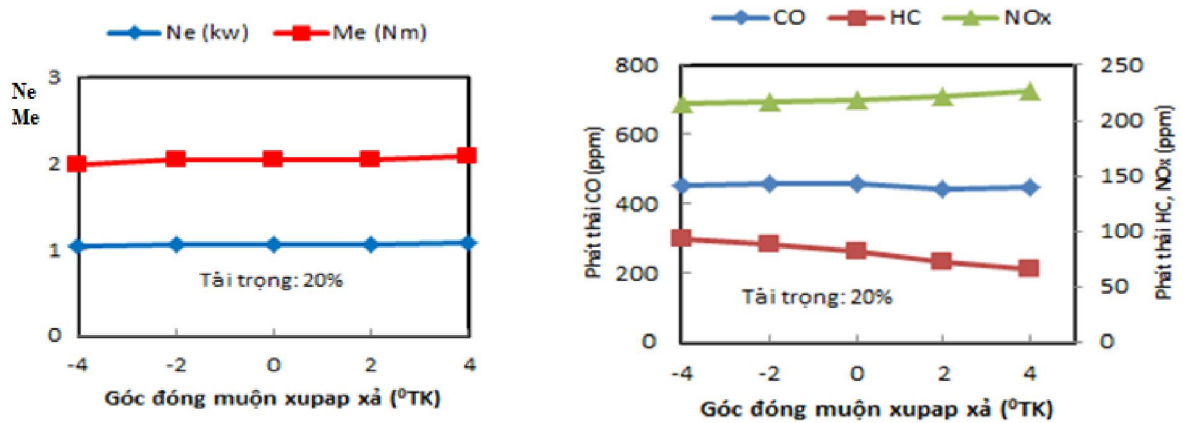
**Hình 4.** Tính năng kỹ thuật và phát thải khí mở sớm xupap thải

+ Tính năng kỹ thuật: Khi mở sớm xupap xả tính năng kỹ thuật của động cơ không thay đổi nhiều, vì khi mở sớm xupap thải không ảnh hưởng nhiều đến công suất và mô men động cơ.

+ Phát thải: Hàm lượng CO và HC gần như không thay đổi. Ở đây, hàm lượng khí NO<sub>x</sub> tăng lên khi chúng ta mở sớm xupap thải và có chiều hướng giảm khi mở muộn xupap.

### 3.1.4. Đóng muộn xupap thải

Ảnh hưởng của việc đóng muộn xupap thải được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Tính năng kỹ thuật và phát thải khi đóng muộp xupap thỏi

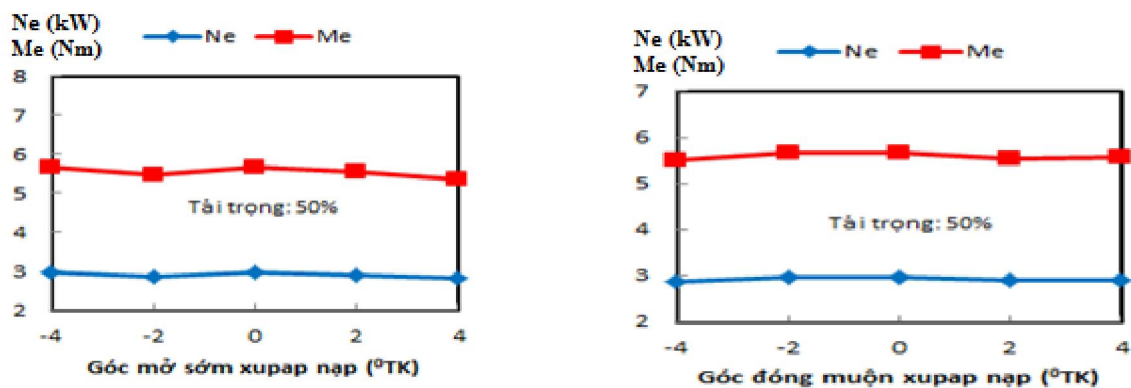
+ Tính năng kỹ thuật: Kết quả cho thấy công suất và mô men gần như không bị ảnh hưởng khi đóng sớm  $2^0$  và đóng muộp  $2^0$ . Mô men động cơ tăng nhẹ khi đóng muộp  $4^0$ .

+ Phát thải: Đóng muộp khi động cơ chạy ở chế độ tải nhỏ thì hàm lượng khí CO không thay đổi, hàm lượng khí NOx có tăng lên nhưng không đáng kể, trong khi đó hàm lượng HC giảm xuống. Điều này có thể được giải thích như sau: khi đó quá trình cháy vẫn tiếp diễn nên hàm lượng HC trong hỗn hợp tiếp tục phản ứng và kết quả là hàm lượng HC trong khí thải giảm.

### 3.2. Chế độ tải trung bình

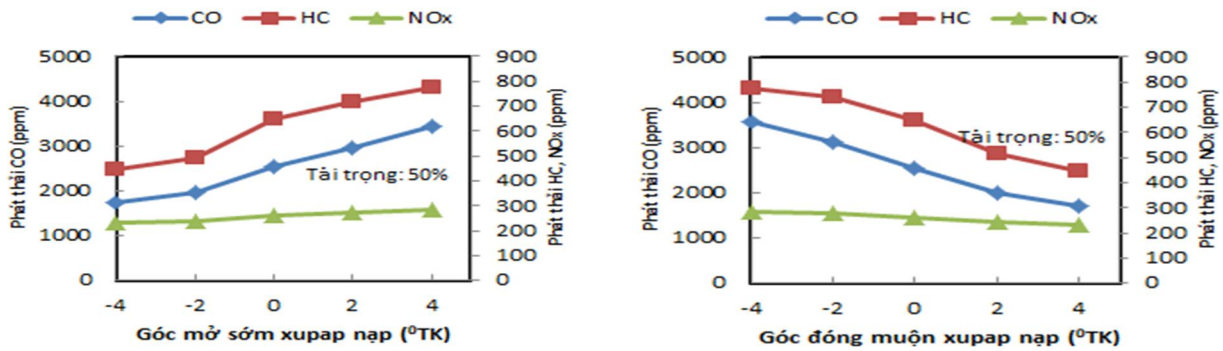
#### 3.2.1. Mở sớm đóng muộp xupap nạp

Hình 6 thể hiện ảnh hưởng của góc mở sớm, đóng muộp của xupap nạp đến công suất và mô men động cơ ở chế độ tải trung bình. Kết quả cho thấy, sự thay đổi về công suất và mô men là không nhiều, góc nguyên bản vẫn cho giá trị cao nhất.



Hình 6 Tính năng kỹ thuật khi thay đổi góc mở sớm, đóng muộp xupap nạp

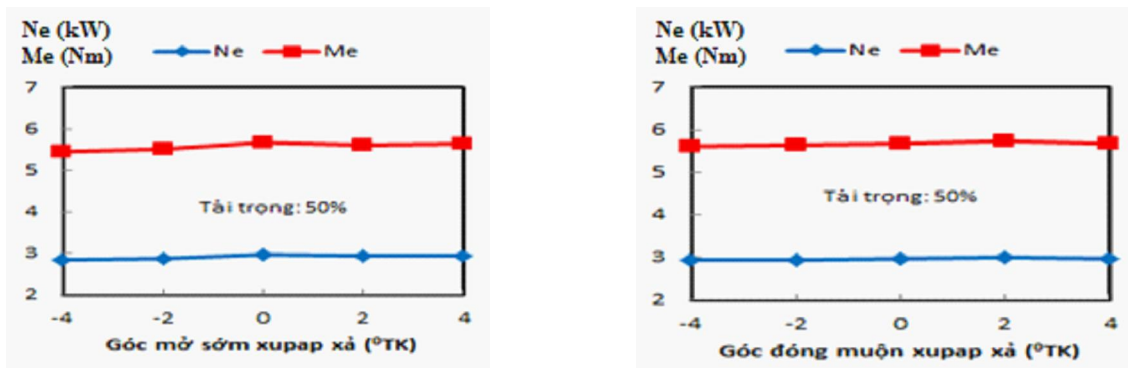
Hình 7 trình bày kết quả về phát thải cho thấy khi giảm thời gian nạp thì CO và HC tăng lên do giảm thời gian bay hơi và ngược lại, trong khi NOx là không thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, để đảm bảo công suất và mô men thì góc nguyên bản vẫn nên được lựa chọn.



Hình 7. Phát thải khí thay đổi góc mở sớm, đóng muộn xupap nạp

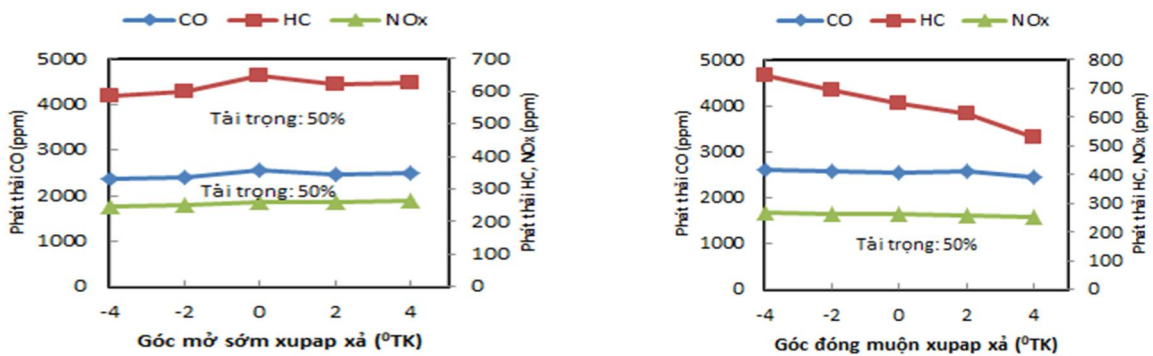
### 3.2.2. Mở sớm đóng muộn xupap thải

Hình 8 thể hiện sự ảnh hưởng của góc mở sớm đóng muộn xupap nạp đến tính năng kỹ thuật. Tương tự như hình 8, có thể thấy ảnh hưởng là không nhiều và góc nguyên bản vẫn cho giá trị lớn nhất. Có thể giải thích do đây là các góc tối ưu được thiết kế cho chế độ tải trung bình.



Hình 8. Tính năng kỹ thuật khi thay đổi góc mở sớm, đóng muộn xupap thải

Hình 9 trình bày kết quả về phát thải. Ảnh hưởng của các góc mở sớm và đóng muộn xupap thải đến các phát thải độc hại là không nhiều. Do đó, góc nguyên bản cũng nên được lựa chọn.



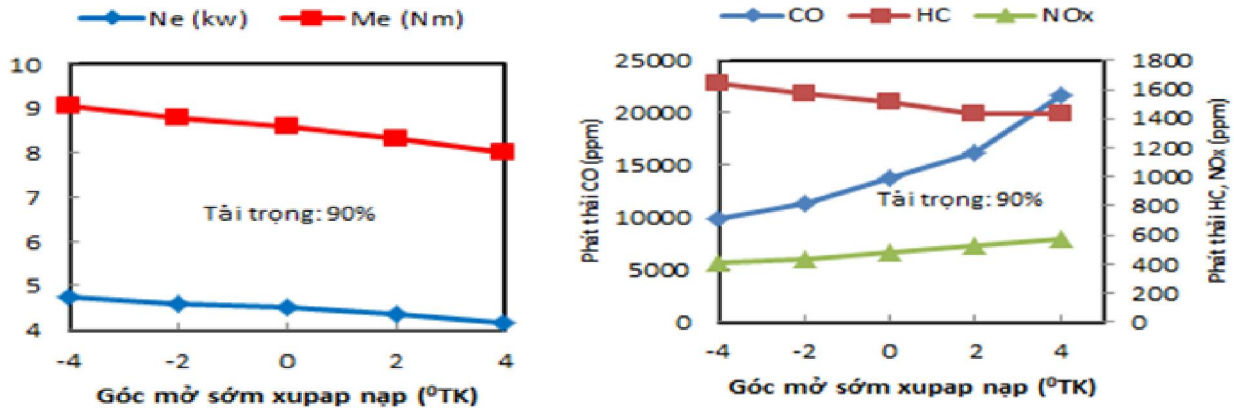
Hình 9. Phát thải khí thay đổi góc mở sớm, đóng muộn xupap thải

### 3.3. Chế độ tải lớn

#### 3.3.1. Mở sớm xupap nạp

Hình 10 thể hiện của sự thay đổi góc mở sớm xupap nạp ảnh hưởng đến tính năng kỹ thuật và phát thải động cơ ở chế độ tải lớn.

+ Tính năng kỹ thuật: Khi mở sớm xupap nạp thì công suất và mô men của động cơ tăng và giảm khi mở muộn so góc nguyên bản. Ở chế độ tải lớn cần phát ra công suất cũng mô men lớn, do đó cần mở xupap nạp sớm hơn nữa nhằm tăng lượng hỗn hợp cho động cơ.

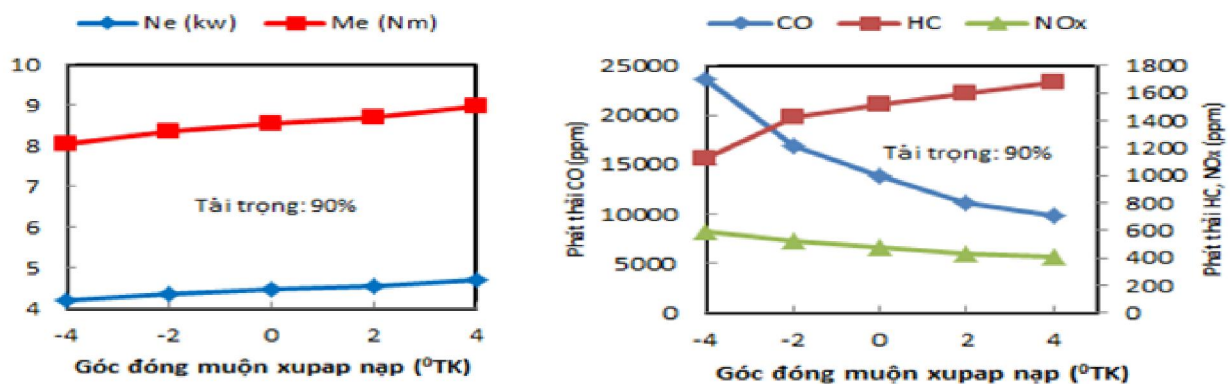


Hình 10. Tính năng kỹ thuật và phát thải khi mở sớm xupap nạp

+ Phát thải: Phát thải của động cơ khí mở sớm xupap nạp so với góc nguyên bản thì hàm lượng CO và NOx giảm trong khi đó hàm lượng HC thay đổi không đáng kể. Ngược lại, khi mở muộn hơn thì NOx và đặc biệt là CO tăng nhanh. Nguyên nhân là do thời gian nạp giảm gây bất lợi cho quá trình cháy.

#### 3.3.2. Đóng muộn xupap nạp

Hình 11 thể hiện ảnh hưởng của góc đóng muộn xupap nạp ở chế độ tải lớn.



Hình 11. Tính năng kỹ thuật và phát thải khi đóng muộn xupap nạp

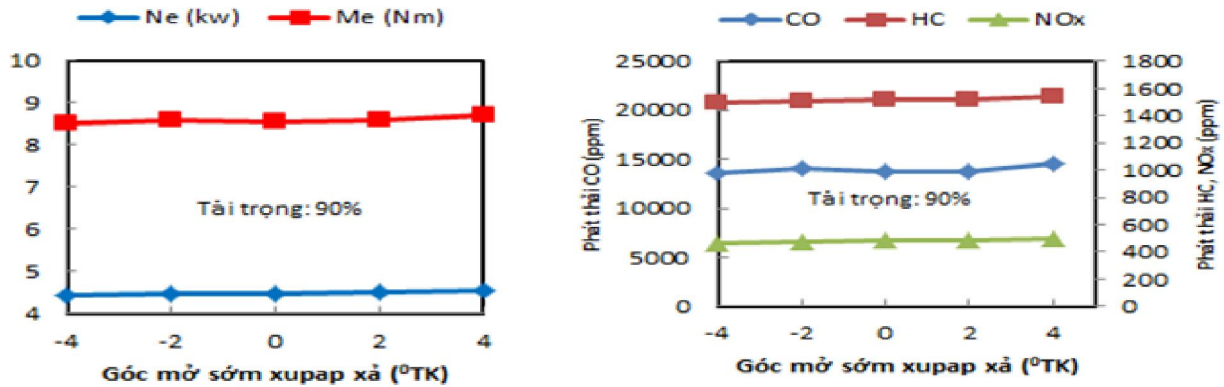
+ Tính năng kỹ thuật: Công suất và mô men của động cơ tăng lên khi góc đóng muộn của xupap nạp tăng. Khi đóng muộn làm cho lượng khí nạp vào nhiều hơn. Để đạt được tính năng



cao thì góc đóng muộn sẽ lớn hơn. Cùng với đó khi đóng sớm xupap nạp cũng dẫn đến công suất và mô men động cơ giảm.

+ Phát thải: Động cơ ở chế độ này khi đóng muộn xupap nạp thì hàm lượng CO và NO<sub>x</sub> giảm, đặc biệt là CO. Cùng với đó là sự tăng nhanh của hàm lượng HC vì khi đó lượng hòa khí trong buồng đốt lớn chất lượng cháy tăng lên. Khi đóng sớm xupap nạp ta có thể giảm được hàm lượng HC nhưng kéo theo sự tăng nhanh của hàm lượng CO.

### 3.3.3. Mở sớm xupap thải

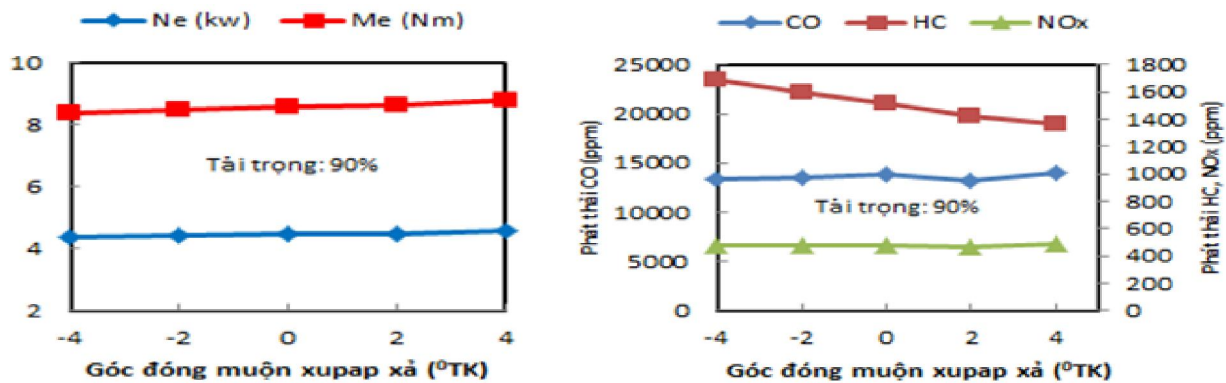


Hình 12. Tính năng kỹ thuật và tính phát thải khi mở sớm xupap thải

+ Tính năng kỹ thuật: Khi mở sớm xupap xả ở chế độ lớn không nhiều nhưng vẫn làm giảm công suất và mô men động cơ. Đồng thời khi mở muộn xupap xả, tính năng kỹ thuật của động cơ tăng.

+ Phát thải: Khi mở sớm xupap xả hàm lượng khí thải không có nhiều thay đổi so với góc mở tiêu chuẩn. hàm lượng CO giảm nhẹ khi mở sớm và tăng nhẹ khi mở muộn xupap xả.

### 3.3.4. Đóng muộn xupap thải



Hình 13. Tính năng kỹ thuật và tính phát thải khi đóng muộn xupap thải

+ Tính năng kỹ thuật: không có nhiều thay đổi về công suất còn mô men tăng nhẹ khi đóng muộn xupap xả. Nguyên nhân là vì khi đó lượng khí thải trong buồng đốt được thải sạch hơn đảm bảo chất lượng khí nạp trong buồng đốt.

+ Phát thải: Khi thay đổi góc đóng muộn xupap xả, hàm lượng CO và NO<sub>x</sub> không thay đổi nhiều nhưng hàm lượng HC thì giảm khi đóng muộn hơn so với nguyên bản. Nguyên nhân cũng được giải thích tương tự như ở chế độ tải nhỏ.

#### 4. KẾT LUẬN

Thời điểm mở sớm và đóng muộn của các xupap theo góc quay trục khuỷu ảnh hưởng rất lớn đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ.

Chế độ tải nhỏ có góc mở sớm đóng muộn tối ưu thay đổi nhỏ so với góc đóng mở nguyên bản để tăng tính năng kỹ thuật và giảm phát thải của động cơ.

Chế độ tải trung bình có các góc nguyên bản là tối ưu vì động cơ được thiết kế để làm việc tốt nhất ở chế độ tải này.

Chế độ tải lớn góc thay đổi lớn so với góc đóng mở nguyên bản để đạt được góc tối ưu của động cơ.

Bài báo là cơ sở để mở rộng hướng nghiên cứu như: nghiên cứu sự truyền nhiệt của động cơ một xylanh có hệ thống pha phối khí linh hoạt, nghiên cứu điều kiện ứng dụng lắp đặt hệ thống phối khí linh hoạt trên động cơ một xylanh, nghiên cứu nâng cấp lắp đặt hệ thống phối khí linh hoạt cho động cơ một xylanh ở Việt Nam...

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Tất Tiên, “*Nguyên lý động cơ đốt trong*”, NXB Giáo dục, 2012.
- [2]. Phạm Minh Tuấn, “*Động cơ đốt trong*”, NXB KH&KT 2012.
- [3]. Nguyễn Tuấn Nghĩa, Lê Hồng Quân, Phạm Minh Hiếu, “*Kết cấu và tính toán động cơ*”, NXB KH&KT 2014.
- [4]. Nguyễn Văn Tuấn, Vũ Ngọc Khiêm, Đào Trọng Thắng. “*Nghiên cứu ảnh hưởng của pha phối khí tới chế độ làm việc của động cơ xăng định hướng ứng dụng cho xe Hybrid*”, Tạp chí GTVT số tháng 10/2012.
- [5]. Murata, Y., Kusaka, J., Odaka, M., Daisho, Y., Kawano, D., Suzuki, H., Ishii, Y. Goto, “*Achievement of Medium Engine Speed and Load Premixed Diesel Combustion with Variable Valve Timing*”, SAE 2006-01-0203, 2006.
- [6]. Osama H. Ghazal, Yousef S. Najjar, Kutaeba J. AL-Khishali, “*Effect of varying inlet valve throat diameter at different IVO, IVC, and Overlap angles on SI engine performance*”, Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol III, WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K, ISBN: 978-988-19251-5-2, ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966.
- [7]. Can ÇINAR and Fazıl AKGÜN, “*Effect of intake valve closing time on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine*”, Journal of Polytechnic, Vol: 10 No: 4 pp.371-375, 2007.
- [8]. G. Fontana and E. Galloni, “*Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine*”, Applied Energy 86 (2009), pp: 96–105.