

NGHIÊN CỨU ĐIỀU CHỈNH CÁC THAM SỐ TRONG MÔ HÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL 2.5 TCI-A BẰNG PHẦN MỀM AVL-BOOST THEO DIỄN BIẾN ÁP SUẤT THỰC TRONG XI LẠNH

RESEARCH ADJUSTMENT OF MODEL PARAMETERS OF DIESEL ENGINE 2.5 TCI-A BY AVL-BOOST SOFTWARE FOOD PRESSURE IN CYLINDER

THS. TRẦN TRỌNG TUẤN¹; TS. NGUYỄN CÔNG ĐOÀN²; TS. NGUYỄN VĂN TUÂN³;
TS. VŨ NGỌC KHIÊM⁴

^{1,2,3,4}Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

¹Email: trongtuanmtt47@gmail.com

TÓM TẮT: Khi tính toán chu trình công tác (CTCT) của động cơ diesel phun nhiên liệu điều khiển điện tử kiểu CommonRail (CR) trong phần mềm mô phỏng chuyên dụng AVL-Boost thì việc lựa chọn đúng mô hình cháy và các tham số tương ứng của nó có ý nghĩa rất quan trọng. Mô hình cháy kết hợp với quy luật cung cấp nhiên liệu sẽ cho phép xác định được chi tiết quy luật cháy và tốc độ tỏa nhiệt khi cháy. Bài báo trình bày kết quả hiệu chỉnh các tham số trong mô hình cháy của động cơ diesel Hyundai D4CB 2.5 TCI-A (dùng hệ thống phun kiểu CR, tăng áp tuabin khí thải kiểu VGT có làm mát khí tăng áp, sử dụng tuần hoàn khí thải EGR có làm mát khí tuần hoàn ...) trong phần mềm AVL-Boost dựa theo kết quả thực nghiệm đo diễn biến áp suất trong xi lanh. Ngoài việc lựa chọn được mô hình và bộ thông số của mô hình phù hợp cho đối tượng nghiên cứu, kết quả thu được còn giúp đánh giá tác động của các tham số của mô hình cháy đến diễn biến các quy luật nhiệt động trong xi lanh động cơ diesel.

TỪ KHÓA: Mô hình cháy Double Vibe, Mô hình cháy AVL-MCC, Động cơ diesel D4CB 2.5TCI-A; phần mềm AVL-Boost, mô phỏng chu trình công tác.

ABSTRACT: When calculating the working-cycle of the CommonRail diesel engine in the AVL-Boost simulation software, the selection of the correct combustion model and their parameters is very important. Combustion model combined with the fuel injection characteristic will allow to identify detailed burning rate and heat release rate in cylinder. This paper presents results of selection and calibration combustion model (Double Vibe, AVL-MCC) of Hyundai D4CB 2.5 TCI-A diesel engine (4-cylinder in-line, CommonRail CP3 fuel injection system, VGT exhaust turbocharger with intercooler, ERG ...) in AVL-Boost software based on experimental results of in-cylinder pressure.

KEYWORDS: Working cycle, Double Vibe combustion model, AVL-MCC combustion model, D4CB 2.5TCI-A diesel engine, AVL-Boost.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay các động cơ diesel thể hệ mới được điều khiển bằng ECU và được tích hợp rất nhiều công nghệ hiện đại như: hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử kiểu CR (với áp suất phun rất cao và không phụ thuộc vào tốc độ động cơ; số lần, thời điểm và lượng phun và có thể thay đổi rất linh hoạt cho các mục đích khác nhau), hệ thống tăng áp tua bin khí thải kiểu VGT có làm mát khí tăng áp (cho phép tăng công suất động cơ, tăng khả năng đáp ứng của động cơ, giảm nhiệt độ khí tăng áp...), hệ thống tuần hoàn khí thải EGR có làm mát khí tuần hoàn (giảm mức phát thải NOx) vì vậy khi mô phỏng CTCT của những động cơ này trên phần mềm chuyên dụng cần lựa chọn được mô hình cháy phản ánh đầy đủ nhất các đặc điểm công nghệ nói trên.

Trong điều kiện hiện nay của nước ta để thực hiện được các thí nghiệm chuyên sâu liên quan đến quá trình cháy của động cơ đốt trong là rất khó khăn do những hạn chế về mặt trang thiết bị, kinh phí... vì vậy việc sử dụng phần mềm mô phỏng nhằm tính toán CTCT, dự đoán trước sự thay đổi của các thông số theo các yếu tố ảnh hưởng khác nhau có ý khoa học và giảm chi phí cho quá trình nghiên cứu.

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu lý thuyết nhằm xây dựng bộ thông số hiệu chỉnh các tham số trong mô hình cháy MCC của động cơ diesel D4CB 2.5TCI-A trên phần mềm AVL-Boost. Kết quả của nghiên cứu phục vụ trực tiếp cho việc xây dựng và hiệu chỉnh mô hình động cơ trên phần mềm AVL-Boost.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA MÔ HÌNH CHÁY MCC, [9]

Trong phần mềm Boost sử dụng mô hình cháy hòa trộn có kiểm soát (Mixing Controlled Combustion) (MCC) [6,7] nhằm phục vụ cho việc dự đoán các đặc điểm quá trình cháy của động cơ cháy do nén phun nhiên liệu trực tiếp. Mô hình này xem xét ảnh hưởng của quá trình cháy do hòa trộn trước (PMC) và cháy khuếch tán (MCC) kiểm soát quá trình cháy. Phương trình tính toán cân bằng nhiệt như sau:

$$\frac{dQ_{total}}{d\alpha} = \frac{dQ_{MCC}}{d\alpha} + \frac{dQ_{PMC}}{d\alpha} \quad (2.7)$$

Quá trình cháy hòa trộn có kiểm soát

Trong quá trình này mức độ tỏa nhiệt là hàm của lượng nhiên liệu phun vào xilanh (f_1) và năng lượng động năng mật độ vận động (f_2)

$$\frac{dQ_{MCC}}{d\alpha} = C_{comb} \cdot f_1(m_F, Q_{MCC}) \cdot f_2(k, V) \quad (2.8)$$

với

$$f_1(m_F, Q_{MCC}) = (m_F - \frac{Q_{MCC}}{LCV}) \cdot (w_{Oxygen.available})^{C_{EGR}} \quad (2.9)$$

$$f_2(k, V) = C_{Rate} \cdot \frac{\sqrt{k}}{\sqrt[3]{V}} \quad (2.10)$$

trong đó

Q_{MCC}	Lượng tỏa nhiệt cho quá trình đốt cháy hòa trộn có kiểm soát [kJ]
C_{comb}	Hệ số của quá trình cháy [kJ/kg/deg]
C_{rate}	Hệ số hòa trộn [s]
k	Mật độ của năng lượng vận động xoáy lốc [m^2/s^2]
m_F	Khối lượng nhiên liệu bay hơi [kg]
LCV	Nhiệt trị thấp của nhiên liệu [kJ/kg]
V	Thể tích xilanh [m^3]
α	Góc quay trục khuỷu [Độ]

$w_{Oxygen.available}$ Tỷ lệ khối lượng oxy (cả lượng nạp vào và lượng EGR) tại thời điểm bắt đầu phun.

Phương trình bảo toàn động năng của dòng tia phun

Lượng động năng truyền cho từng xilanh được xác định thông qua lượng nhiên liệu phun vào xilanh. Tham số về tản nhiệt được coi là tỷ lệ thuận với năng lượng cấp vào.

Năng lượng động năng (TKE) được tính toán như sau:

$$\frac{dE_{kin}}{dt} = 0.5 \cdot \dot{m}_F \cdot v_F^2 - C_{Diss} \cdot E_{kin} \quad (2.11)$$

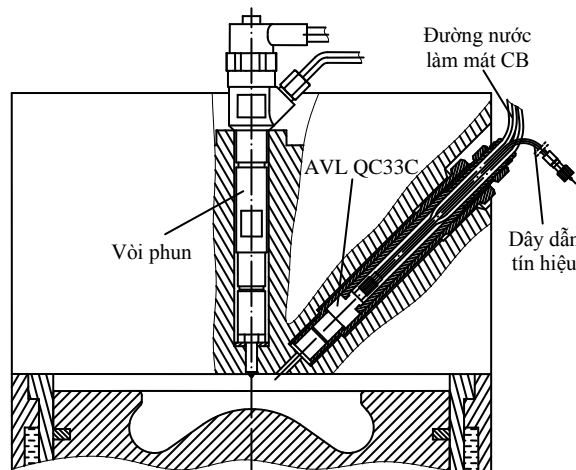
$$k = \frac{C_{turb} \cdot E_{kin}}{m_{F,I} (1 + \lambda_{Diff} m_{stoich})} \quad (2.12)$$

trong đó

E_{kin}	Năng lượng động năng đối	[J]
C_{Turb}	Tham số năng lượng vận động rối trong xilanh	[-]
C_{Diss}	Tham số tản nhiệt (cho sửa đổi [$J^{0.5}/s$]; cho mặc định [1/s])	
m_F	Khối lượng nhiên liệu phun vào xilanh	[kg]
v	Vận tốc phun $v = \frac{m_F}{\rho_F \cdot \mu_A}$	[m/s]
μ_A	Tiết diện lưu thông có ích của lỗ vòi phun	[m ²]
ρ_F	Độ nhớt của nhiên liệu	[kg/m ³]
n	Tốc độ động cơ	[rpm]
m_{stoich}	Khối lượng cân bằng hóa học của khí nạp mới	[kg/kg]
λ_{Diff}	Tỷ lệ dư lượng không khí để đốt cháy khuếch tán	[-]
t	Thời gian	[s]

3. THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH DIỄN BIẾN ÁP SUẤT BÊN TRONG XILANH ĐỘNG CƠ HUYNDAI D4CB 2.5 TCI-A

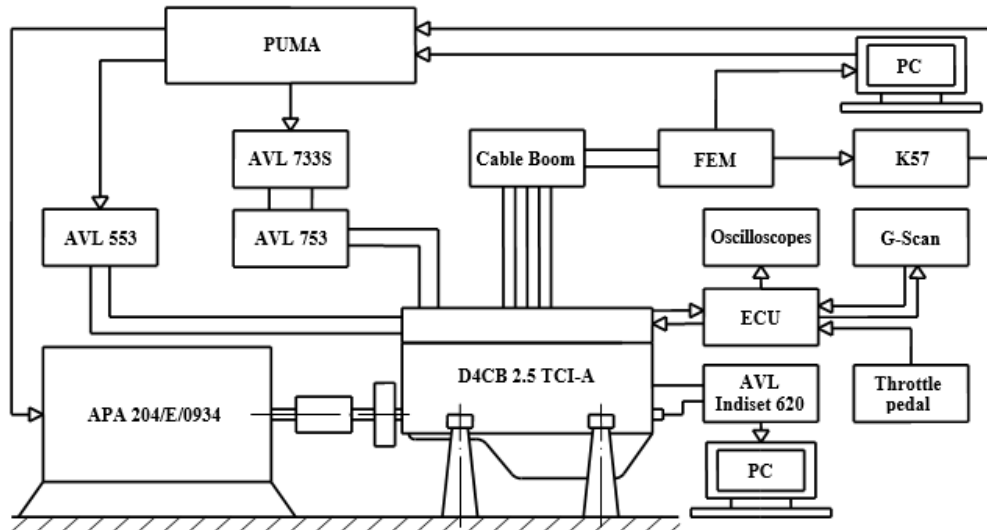
Quá trình thử nghiệm được thực hiện tại Phòng thử động cơ nhiều xi lanh, Viện Cơ khí Động lực, Đại học Bách Khoa Hà Nội. Sơ đồ bố trí và hình ảnh thực tế các trang thiết bị phục vụ quá trình thử nghiệm được thể hiện như trên Hình 2, 3.



Hình 1. Sơ đồ lắp đặt cảm biến đo áp suất thực trong xi lanh (AVL QC33C)

Để xác định diễn biến p_{cyl} , sử dụng cảm biến áp suất (kiểu áp điện) AVL QC33C (được làm mát bằng nước), có dải đo từ 0 đến 200 bar [4]. Cảm biến áp suất được lắp vào lỗ

khoan tại vị trí lắp buji sáy của xi lanh thứ nhất (sơ đồ lắp đặt được trình bày trên Hình 1). Trong quá trình làm việc, cảm biến QC33C kết hợp với Encoder 364C (bước 0,5 độ góc quay trục khuỷu - GQTK) để xác định giá trị p_{cyl} ở từng thời điểm tương ứng. Tín hiệu p_{cyl} và tín hiệu GQTK được ghi nhận bởi thiết bị AVL Indiset 620.



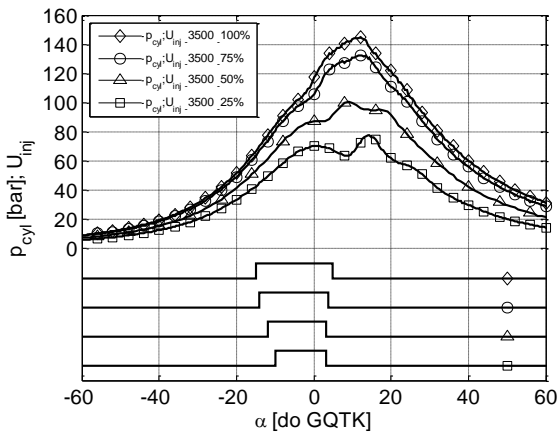
Hình 2. Sơ đồ bố trí các trang thiết bị thử nghiệm [4,5]

APA 204/E/0934 - phanh thử; AVL 553 - hệ thống kiểm soát nhiệt độ nước làm mát; AVL 753 - hệ thống kiểm soát nhiệt độ nhiên liệu; AVL 733S - thiết bị đo lượng nhiên liệu tiêu thụ; PUMA - hệ thống tự động hóa thiết bị đo và bộ thử; Cable Boom - hộp nối cáp tín hiệu từ các cảm biến; FEM - bộ chuyển đổi tín hiệu; K57 - bảng điều khiển; Oscilloscopes - máy hiển sóng; ECU - bộ điều khiển điện tử của động cơ D4CB; Throttle pedal - bàn đạp chân ga của động cơ; G-Scan - thiết bị chẩn đoán theo chuẩn OBD-II; AVL Indiset 620 - hệ thống chuyên dụng ghi nhận dữ liệu trong xi lanh; PC - máy tính.

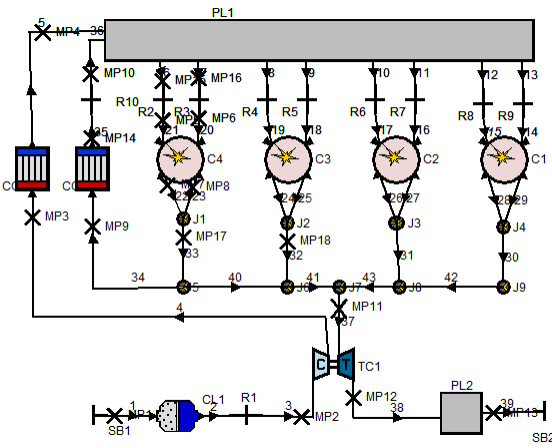


Hình 3. Hình ảnh thực tế của các trang thiết bị thử nghiệm

Các kết quả chi tiết về diễn biến áp suất bên trong xi lanh khi thử nghiệm được trình bày trong công trình [4,5], diễn biến áp suất ở chế độ 3500 tại các giá trị tải khác nhau được trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Diễn biến P_{cyl} tại $n_{dc}=3500$ (vg/ph)



Hình 5. Mô hình động cơ 2.5TCI-A

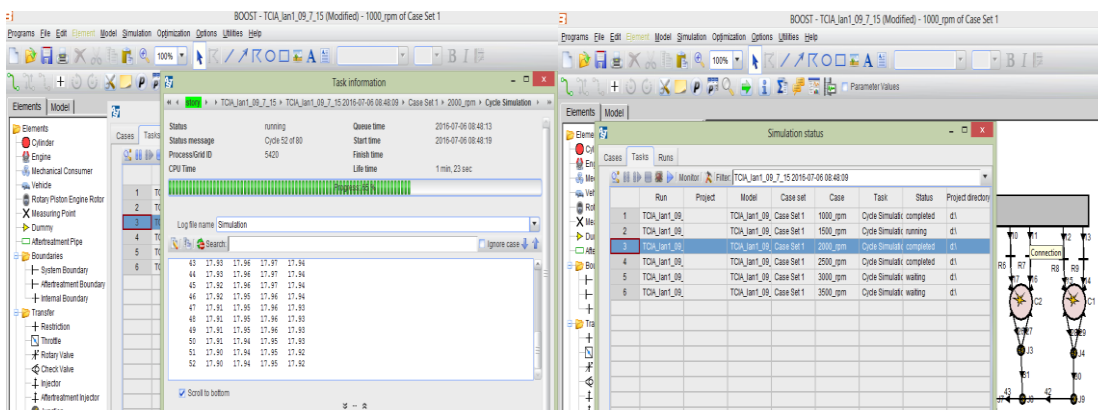
4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ 2.5TCI-A

Động cơ diesel 2.5TCI-A là động cơ 4 kỳ, 4 xy lanh bố trí 1 hàng, phun nhiên liệu trực tiếp, tăng áp bằng tua bin khí thải VGT có làm mát khí tăng áp, sử dụng hệ thống tuần hoàn khí thải EGR có làm mát khí thải tuần hoàn. Hệ thống phun diesel kiểu CR của động cơ này dùng bơm cao áp kiểu CP1H với áp suất phun lớn nhất là 1600 bar, [4,5]. Mô hình động cơ lập trong phần mềm AVL-Boost được trình bày trên Hình 5.

Các phần tử chính của mô hình gồm: 04 phần tử xilanh ký hiệu từ C1 đến C4; bộ tuabin-máy nén TC1; bộ làm mát khí nạp mới và làm mát khí EGR ký hiệu CO1 và CO2; điều kiện biên đầu vào và ra: SB1 và SB2; bộ lọc khí nạp CL1; các đoạn ống được đánh số từ 1 đến 43; các phần tử điểm đo được ký hiệu từ MP1 đến M18.

Thông số đầu vào chính của mô hình gồm: các thông số kết cấu (được xác định bằng cách đo trực tiếp từ động cơ), thông số về lượng khí nạp, áp suất khí tăng áp, áp suất phun, lượng nhiên liệu cung cấp cho một chu trình... được xác định trên bảng thử động cơ đã được trình bày trong công trình [4].

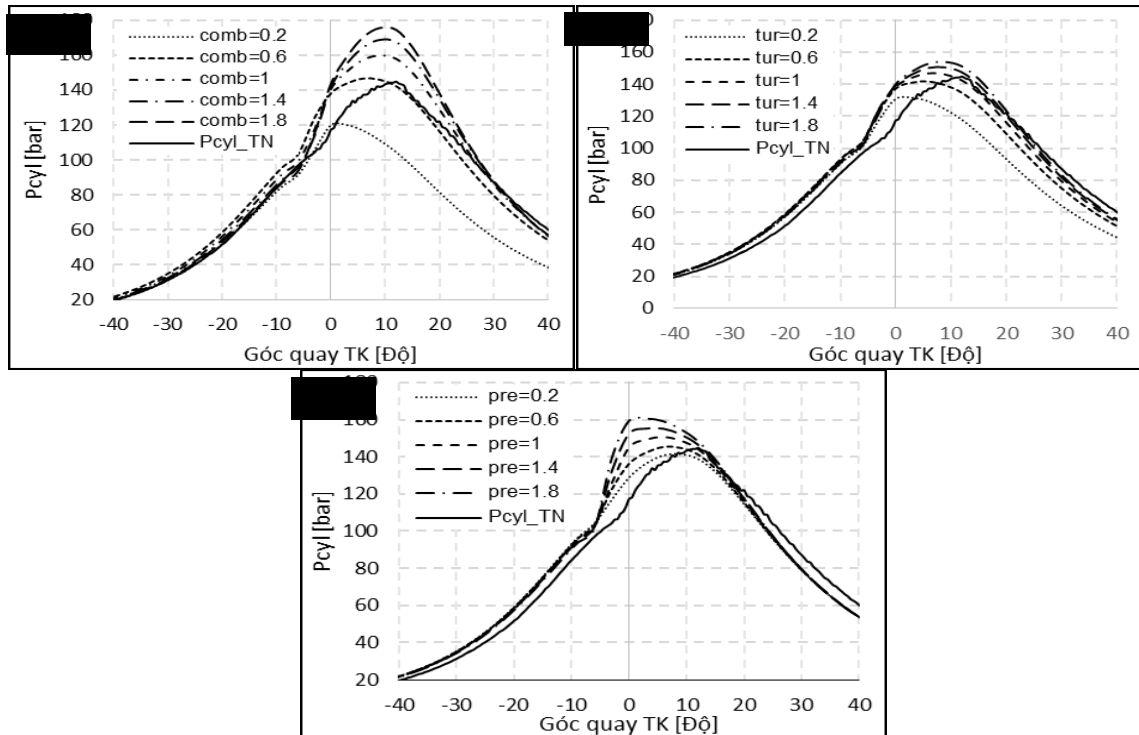
Mô hình sau khi được lập sẽ được hiệu chỉnh theo đường đặc tính ngoài đồng thời p_{cyl} tại chế độ 100% ở vòng quay 3500 (vg/ph) khi mô phỏng sẽ được so sánh và hiệu chỉnh với diễn biến áp suất thực trong xi lanh được đo bằng thực nghiệm trên băng thử động cơ đã được trình bày trong công trình [5]. Hình ảnh chạy mô hình trên phần mềm AVL - Boost được trình bày trên Hình 6.



Hình 6. Mô hình động cơ 2.5TCI-A được chạy trên phần mềm AVL-Boost

4. HIỆU CHỈNH CÁC THAM SỐ TRONG MÔ HÌNH CHÁY MCC DỰA TRÊN DIỄN BIẾN ÁP SUẤT THỰC TRONG XILANH

Kết quả đánh giá ảnh hưởng của tham số trong mô hình MCC đến diễn biến áp suất trong xilanh được trình bày trên Hình 7



Hình 7. Ảnh hưởng của các tham số trong mô hình MCC đến p_{cyl}

Căn cứ vào kết quả trên có thể thấy hệ số của quá trình cháy (C_{comb}) ảnh hưởng đến độ lớn và thời điểm đạt P_z . Khi tăng hệ số C_{comb} sẽ tăng P_z và thời điểm đạt P_z có xu hướng xa ĐCT hơn điều này có thể được giải thích do khi tăng C_{comb} sẽ làm tăng tốc độ tỏa nhiệt trong giai đoạn cháy khuếch tán điều này sẽ làm tăng nhiệt độ và áp suất cực đại trong xilanh. Thông qua kết quả mô phỏng có thể chọn $C_{comb}=0.6$ khi đó đường diễn biến áp suất trong xilanh khi mô phỏng bám sát với thực nghiệm nhất, (Hình 6-a).

Hệ số C_{turb} đặc trưng cho mức độ vận động rối của hỗn hợp môi chất công tác bên trong xilanh tại thời điểm phun nhiên liệu vào xilanh qua đó ảnh hưởng đến động năng và mức độ phân rã chùm tia phun. Hệ số C_{turb} ảnh hưởng đến độ lớn và thời điểm đạt P_z . Khi tăng hệ số C_{turb} sẽ tăng P_z và thời điểm đạt P_z có xu hướng xa ĐCT hơn do khi tăng C_{turb} làm tăng mức độ vận động xoáy lốc trong xilanh thông qua đó làm tăng khả năng phân rã của chùm tia phun, tăng độ đồng đều và chất lượng của hỗn hợp cháy sẽ cải thiện quá trình cháy dẫn đến sự tăng của P_z . Việc lựa chọn giá trị của C_{turb} phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: đặc điểm hệ thống cung cấp nhiên liệu, quy luật cung cấp nhiên liệu, hình dạng buồng cháy, nhiệt độ và áp suất khí tăng áp... Qua các kết quả mô phỏng ở trên có thể chọn hệ số $C_{turb}=1$, (Hình 6-b).

Hệ số C_{PMC} đặc trưng cho quá trình cháy ở giai đoạn hòa trộn trước. C_{PMC} kết hợp với lượng nhiên liệu phun vào trong giai đoạn cháy do hòa trộn trước sẽ quyết định đến tổng lượng nhiệt cấp vào cho quá trình cháy ở giai đoạn này. Khi tăng C_{PMC} đồng nghĩa với việc lượng nhiệt cấp vào cho giai đoạn cháy do hòa trộn trước sẽ tăng mà lượng phun và thời

gian diễn ra quá trình cháy này là không đổi làm cho quá trình cháy ở giai đoạn này diễn ra với tốc độ nhanh hơn tạo điều kiện tốt cho quá trình cháy khuếch tán diễn ra vì vậy sẽ làm tăng giá trị P_z tuy nhiên thời điểm đạt P_z có xu hướng gần ĐCT hơn do. Căn cứ vào kết quả tính toán trên có thể chọn hệ số $C_{PMC}=0.8$, (Hình 6-c).

7. Kết luận – hướng phát triển

- Phần mềm AVL-Boost có khả năng mô phỏng chu trình công tác của động cơ diesel thể hệ mới có những đặc điểm công nghệ hiện đại như: phun nhiên liệu điều khiển điện tử, có hệ thống EGR và làm mát khí EGR, tuabin kiểu VGT....

- Mô hình động cơ 2.5TCI-A đã được lập và hiệu chỉnh theo diễn biến áp suất thực trong xi lanh có độ chính xác cao vì vậy có thể sử dụng mô hình trên phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo liên quan đến động cơ 2.5TCI-A.

- Trong khuôn khổ của bài báo đã trình bày được bộ thông số nhằm hiệu chỉnh mô hình cháy của động cơ 2.5TCI-A khi hoạt động ở một chế độ. Nhằm hoàn thiện hơn nữa mô hình mô phỏng động cơ diesel Hyundai D4CB 2.5TCI-A nói chung và mô hình cháy nói riêng trong thời gian tới tác giả cần xây dựng bộ thông số hiệu chỉnh mô hình cháy.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hà Quang Minh, *Lý thuyết động cơ*, Hà Nội, NXB Quân đội nhân dân, 2002.
- [2]. Hà Quang Minh, Nguyễn Hoàng Vũ, *Phun nhiên liệu điều khiển điện tử trên động cơ đốt trong*, NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội-2010.
- [3]. Nguyễn Hoàng Vũ, Thuyết minh đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia “Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm ECU phù hợp cho việc sử dụng nhiên liệu diesel sinh học với các mức pha trộn khác nhau”, mã số ĐT.08.14/NLSH, thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025.
- [4]. Trần Trọng Tuấn, Phạm Trung Kiên, Phùng Văn Đước, Nguyễn Hoàng Vũ..., *Xác định các thông số công tác và mức phát thải ô nhiễm của động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A bằng thực nghiệm*, Tạp chí Cơ khí toàn quốc 11/2015.
- [5]. Phùng Văn Đước, Trần Trọng Tuấn, Phạm Trung Kiên, Nguyễn Hoàng Vũ..., *Khảo sát ảnh hưởng của chế độ tải, tốc độ đến diễn biến quá trình phun nhiên liệu và áp suất trong xilanh động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A bằng thực nghiệm*, Tạp chí cơ khí toàn quốc 11/2015.
- [6]. Chmela, F. and Orthaber, G., *Rate of Heat Release Prediction for Direct Injection Diesel Engines Based on Purely Mixing Controlled Combustion*, SAE paper 1999 01 0186.
- [7]. Poetsch, C., *Crank-Angle Resolved Modeling of Fuel Injection and Mixing Controlled Combustion for Real- Time Application In Steady-State and Transient Operation*, SAE Technical Paper 2014-01-1095, doi:10.4271/2014- 01-1095.
- [8]. Andree, A.and Pachernegg, “*Ignition Conditions in Diesel Engines*”, SAE 690253.
- [9]. AVL List GmbH (2013), *Theory and Guide Document*.
- [10]. Sitkei, G, *Kraftstoffausbreitung und Verbrennung bei Dieselmotoren*, Springer Verlag, 1964.

Người phản biện: TS. Nguyễn Quang Anh - Trường Đại học Công nghệ GTVT