

Động lực học quá trình động cơ đốt trong CFR dùng trong thử nghiệm trị số octan

Processing dynamic of internal combustion engine CFR using for testing of octane number

Nguyễn Phú Quốc, Phan Văn Hiền, Bùi Quốc Khánh

Trung tâm Kỹ thuật TCDLCL 2, Trường ĐHBK Đà Nẵng, Trường ĐHBK Hà Nội

e-Mail: quocnp1008@gmail.com

Tóm tắt

Trị số octan của nhiên liệu nói chung và của xăng nói riêng là một chỉ tiêu quan trọng hàng đầu trong việc sản xuất, mua bán, sử dụng cho các động cơ đốt trong. Trị số octan (ON) của xăng là một trong những chỉ số thể hiện khả năng chống gõ thu được bằng cách so sánh với các nhiên liệu chuẩn trong động cơ được chuẩn hóa [1]. Nhiên liệu có ON cao sẽ mang lại nhiều lợi ích và hiệu quả sử dụng cho động cơ đốt trong (công suất, độ bền, mức tiêu hao, ...). Nội dung bài báo trình bày về động lực học quá trình động cơ đốt trong CFR dùng trong thử nghiệm trị số octan, làm cơ sở nghiên cứu xây dựng mô hình điều khiển và xem xét ảnh hưởng của các tham số vận hành động cơ tới chất lượng kết quả thử nghiệm trị số octan.

Từ khóa: động cơ đốt trong, trị số octan, trị số octan nghiên cứu, trị số octan động cơ.

Abstract:

Octane number of gasoline is an important indicator in the production, trading and use of internal combustion engines. Octane number (ON) is a indicator of resistance to knock obtained by comparison with reference fuels in standardized engine. High ON fuels will bring many benefits and efficiency for the internal combustion engine (capacity, reliability, consumption, ...). This paper presents the dynamics of the internal combustion engine CFR used in testing octane number as a research base for building the control model and examining the impact of the engine operating parameters to quality of ON testing results.

Keywords: Internal combustion engine, octane number, research octane number, motor octane number.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
v, V	m^3	Thể tích buồng đốt
l	m	Chiều dài thanh truyền
s	m	Hành trình pittông
b	m	Đường kính xilanh
a	m	Bán kính trục khuỷu
θ, θ_s	rad	Góc quay trục khuỷu, góc đánh lửa

N	Vòng/phút	Tốc độ động cơ
U_p	m/s	Tốc độ pittông
T_h, T_i	K	Nhiệt độ thành xilanh, nhiệt độ khí nạp
P	kPa	Áp suất
R	kJ/kg.K	Hằng số khí
K_T	kW/m ² .K	Hệ số truyền nhiệt
H, h_f	kJ/kg.K	Entanpi, entanpi riêng phần
Q, W	kJ	Nhiệt năng, cơ năng
M, m	kg	Khối lượng, khối lượng riêng phần
\wedge		Đạo hàm theo góc quay
u, b	Chỉ số dưới	Trạng thái khí chưa cháy (unburned), khí cháy (burned)
i, e	Chỉ số dưới	Biểu thị nạp (intake), xả (exhaust)

Chữ viết tắt

ASTM	American Society for Testing and Materials
ATDC	After Top Dead Center
ABDC	After Bottom Dead Center
BBDC	Before Bottom Dead Center
BTDC	Before Top Dead Center
BDC	Bottom Dead Center
CFR	Cooperation Fuel Research
MON	Motor Octane Number
RON	Research Octane Number
TDC	Top Dead Center

1. Phần mở đầu

Để xác định trị số octan của nhiên liệu động cơ đánh lửa, có hai phương pháp chủ yếu được thừa nhận rộng rãi trên toàn thế giới, đó là:

- Phương pháp xác định trị số octan nghiên cứu được quy định tại tiêu chuẩn ASTM D 2699 [1];
- Phương pháp xác định trị số octan động cơ được quy định tại tiêu chuẩn ASTM D 2700 [2].

Các phương pháp nêu trên đều sử dụng một hệ thống xác định trị số octan với thiết bị chính là động cơ đốt trong chuẩn CFR do Waukesha (Mỹ) thiết kế và sản xuất. Nguyên tắc cơ bản để xác định trị số octan của nhiên liệu là so sánh với mẫu chuẩn đã biết trị số octan thông qua động cơ chuẩn CFR được vận hành trên cùng một điều kiện chuẩn. Tuy vậy, không phải lúc nào động cơ CFR trong thiết bị thử nghiệm cũng

đảm bảo các điều kiện chuẩn, các tham số được kiểm soát đầy đủ và chính xác theo yêu cầu, cụ thể các như: Phần cơ của động cơ, hệ đo lường điều khiển. Điều này dẫn đến làm sai số liệu trị số octan của phép thử.

Vì vậy, việc nghiên cứu động lực học quá trình của động cơ CFR để xây dựng được mô hình mô phỏng hệ thống thử nghiệm từ đó có thể xét các yếu tố làm sai lệch kết quả thử nghiệm là cần thiết. Nội dung bài báo gồm ba phần: Phần đầu trình bày khái quát hoạt động của động cơ CFR; Phần hai xây dựng động lực học quá trình của CFR; Phần ba trình bày kết quả mô phỏng bằng Matlab và một số nhận xét.

2. Nội dung

2.1 Khái quát về nguyên lý hoạt động của động cơ CFR

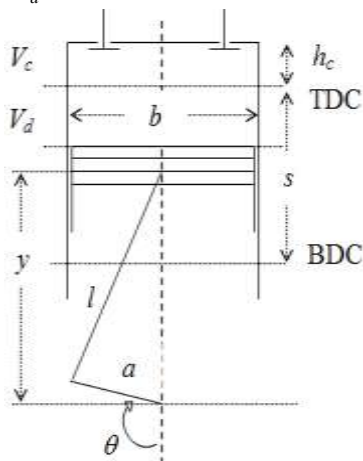
Động cơ CFR là động cơ đốt trong, đánh lửa 4 kỳ một xi lanh. Sơ đồ nguyên lý trình bày trên H. 1 dưới đây, nguyên lý hoạt động gồm 4 kỳ như sau [3]:

- Kỳ 1 – Hút/nạp: nhiên liệu và không khí được nạp vào xi lanh nhờ bộ chế hòa khí và kim (ống) phun cũng như dưới tác dụng của áp suất trong xi lanh khi pittông đi từ điểm chết trên (TDC) xuống điểm chết dưới (BDC) qua van nạp;
- Kỳ 2 – Nén: pittông chuyển dịch từ BDC lên TDC và nén hòa khí nạp được ở Kỳ 1, lúc này áp suất hòa khí trong xi lanh tăng cao.
- Kỳ 3 – Cháy và giãn nở: trước lúc pittông nén hòa khí dịch chuyển đến TDC, hệ thống đánh lửa bật tia lửa thông qua bugi đặt bên trong buồng đốt và bắt đầu đốt cháy hòa khí. Lúc này, áp suất trong xi lanh tăng mạnh và đẩy pittông đi từ TDC xuống BDC. Hòa khí cháy, giãn nở và sinh công để thực hiện các nhiệm vụ.
- Kỳ 4 – Xả: kỳ này thực hiện nhiệm vụ xả sạch sản vật cháy trong xi lanh. Pittông dịch chuyển từ BDC lên TDC và đẩy sản vật cháy ra ngoài thông qua van xả. Kết thúc một chu trình công tác của động cơ.

Phương trình chuyển động của động cơ:

Để hoàn thành một chu trình công tác, trục khuỷu động cơ phải quét một góc $\theta = 720^\circ (4\pi)$, lúc đó thể tích buồng đốt thay đổi theo góc quay của trục khuỷu.

$$V = V_c + V_d \quad (1)$$



H.1 Sơ đồ nguyên lý động cơ đốt trong

Trong đó: V_c (m^3) là thể tích buồng đốt, tương ứng với pittông nằm ở TDC, V_d (m^3) là thể tích buồng đốt do pittông dịch chuyển tạo ra. V (m^3) là thể tích toàn phần của buồng đốt.

Gọi $v(\theta)$ (m^3) là giá trị tức thời của V theo góc quay θ của trục khuỷu, theo [4] và từ H.1 ta có các phương trình sau:

$$v(\theta) = V \left[\frac{1}{r_c} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{r_c} \right) (1 + \cos\theta) + R_c - \sqrt{R_c^2 - \sin^2\theta} \right] \quad (2)$$

Ở đây, tỉ số nén $r_c = V/V_c$ là tỷ số giữa thể tích cực đại (khi pittông ở BDC) và thể tích cực tiểu (khi pittông ở TDC) của xi lanh, $R_c = l/s$ (l là chiều dài thanh truyền).

$$V_d = \frac{\pi}{4} b^2 s \quad (3)$$

Quãng đường dịch chuyển y là hàm của θ :

$$y = l \left[1 - \left(\frac{s}{2l} \right)^2 \sin^2\theta \right] - \frac{s}{2} \cos\theta \quad (4)$$

Tổng diện tích xi lanh $A_h(\theta)$ (m^2) là hàm của góc θ :

$$A_h(\theta) = A_d + A_c \quad (5)$$

A_d (m^2) là diện tích tạo ra do sự dịch chuyển của pittông trong xi lanh và A_c (m^2) là diện tích buồng đốt và được xác định:

$$A_d = \frac{v(\theta) - V_c}{b/4} \quad (6)$$

$$A_c = \pi b h_c + \frac{\pi}{2} b^2 \quad (7)$$

(tính cả mặt trên và dưới của hình trụ).

2.2 Xây dựng phương trình động lực học động cơ

2.2.1 Động lực học của khí cháy

Áp dụng định luật thứ nhất về nhiệt động học và phương trình chất khí lý tưởng ta có [5], [6]:

$$PV_u = m_u R_u T_u \quad (8)$$

$$u_u = C_{v,u} T_u + h_{f,u} \quad (9)$$

$$PV_b = m_b R_b T_b \quad (10)$$

$$u_b = C_{v,b} T_b + h_{f,b} \quad (11)$$

$$PV = m x R_b + 1 - x R_u \quad T = mRT \quad (12)$$

với $R = xR_b + 1 - x R_u$

$$U = mu = m x C_{p,b} + 1 - x C_{p,u} T + x h_{f,b} + 1 - x h_{f,u} \quad (13)$$

Trong đó P (kPa) là áp suất buồng đốt, R ($kJ/kg.K$) là hằng số hòa khí, T (K) là nhiệt độ trong buồng đốt, m (kg) là tổng khối lượng hòa khí ($m = m_b + m_u$, $x = m_u/m$), h_f ($kJ/kg.K$) là entanpi riêng phần của khí, U (kJ) là tổng nội năng của hòa khí, u là nội năng riêng phần của hòa khí (kJ/kg), C_v và C_p ($kJ/kg.K$) là nhiệt dung riêng đẳng tích và đẳng áp của chất khí.

Phương trình cân bằng tổng quát khối lượng và năng lượng của động cơ:

$$\frac{dm}{d\theta} = \hat{m}_i - \hat{m}_e \quad (14)$$

$$\frac{dU}{d\theta} = \frac{\partial Q}{\partial \theta} - \frac{\partial W}{\partial \theta} + \frac{\partial H_i}{\partial \theta} - \frac{\partial H_e}{\partial \theta} = \hat{Q} - \hat{W} + \hat{H}_i - \hat{H}_e \quad (15)$$

Trong đó, \hat{m}_i, \hat{m}_e là mức lưu lượng khối của hòa khí vào, ra của xilanh; $\hat{Q}, \hat{W}, \hat{H}_i, \hat{H}_e$ là công suất nhiệt, công suất cơ, biến thiên entanpi.

2.2.2 Phương trình cân bằng khối lượng và năng lượng cho từng giai đoạn

a) **Giai đoạn 1:** gồm các quá trình không có sự thay đổi về khối lượng (hòa khí, sản vật cháy) bên trong xilanh. Đó là các quá trình nén; quá trình đốt cháy hòa khí, giãn nở và sinh công. Giai đoạn này có hai chu kỳ diễn ra:

- **Nén:** pittông dịch chuyển từ BDC (tương ứng $\theta = 0$) đến TDC (tương ứng $\theta = \pi$). Tuy nhiên, đối với động cơ CFR làm việc để xác định RON, khi $\theta = \theta_s = 13^\circ$ BTDC, bugi bật tia lửa để bắt đầu đốt cháy hòa khí. Việc này được gọi là đánh lửa sớm.

Do không có việc nạp – xả của hòa khí nên (14) viết lại là:

$$\frac{dm}{d\theta} = \hat{m}_i = \hat{m}_e = 0 \quad (16)$$

Ở quá trình này do $\hat{H}_i = \hat{H}_e = 0$ nên phương trình cân bằng năng lượng (15) trở thành:

$$\frac{dU}{d\theta} = \hat{Q} - \hat{W} \quad (17)$$

\hat{W} là công suất do động cơ sinh ra, được tính bởi:

$$\partial W = P dV \rightarrow \frac{\partial W}{d\theta} = \hat{W} = P \frac{dV}{d\theta} \quad (18)$$

\hat{Q} là công suất nhiệt trong chu kỳ này và được tính bởi [7], [8], [9]:

$$\hat{Q} = K_T(\theta) A_h(\theta) (T(\theta) - T_h) / N \quad (19)$$

Trong đó, K_T ($kW/m^2.K$) là hệ số truyền nhiệt tức thời, A_h (m^2) là diện tích xilanh, T là nhiệt độ bên trong buồng đốt, T_h là nhiệt độ thành xilanh và N (vòng/phút) là tốc độ động cơ. Hệ số truyền nhiệt tức thời phụ thuộc vào tốc độ khí và áp suất trong xilanh và thay đổi đáng kể trong quá trình cháy, được tính toán bằng thực nghiệm [8]:

$$K_T = 300 P^{0,75} U_p^{0,75} b^{-0,25} T^{-0,465} / 1000 \quad (20)$$

U_p là vận tốc của pittông.

Động cơ CFR được duy trì tốc độ ổn định bằng một động cơ đồng bộ ba pha, do đó, tốc độ pittông cũng ổn định và được xác định bởi:

$$U_p = \frac{2N.s}{60} = \frac{N.s}{30} \quad (21)$$

Thay (21) vào (20) ta được:

$$K_T = P^{0,75} N^{0,75} s^{0,75} b^{-0,25} T^{-0,465} / 100 \quad (22)$$

Giải kết hợp (12), (13), (16) và (18) biến đổi ta có:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{\hat{Q}}{mX} - (xR_b + (1-x)R_u) \frac{T}{X.V} \frac{dV}{d\theta} - \frac{\Delta C_v T + \Delta h_f}{X} \frac{dx}{d\theta} \quad (23)$$

$$\frac{dP}{d\theta} = m(xR_b + (1-x)R_u) \frac{dT}{d\theta} + mT(R_b - R_u) \frac{dx}{d\theta} - \frac{P}{V} \frac{dV}{d\theta} \quad (24)$$

Trong đó:

$$\Delta h_f = h_{f,b} - h_{f,u}; \Delta C_v = C_{v,b} - C_{v,u}; X = x\Delta C_v + C_{v,u}$$

- **Đốt cháy hòa khí, giãn nở và sinh công:** pittông dịch chuyển từ điểm θ_s đến thời điểm van xả mở ($\theta = \theta_{evo} = 40^\circ$ BBDC).

Để mô tả chi tiết và xây dựng mô hình quá trình đốt cháy nhiên liệu trong buồng đốt, ta chia quá trình đó thành các quá trình nhỏ sau:

+ **Khí bugi bật tia lửa**

Khí bugi bật tia lửa, hòa khí trong xilanh bùng cháy tức thời và trong buồng đốt xảy ra phản ứng cháy. Trong xilanh tồn tại hai vùng: vùng bị đốt cháy (burned zone) và vùng chưa cháy (unburned zone).

Giải kết hợp (12), (13), (14) và (15) viết cho giai đoạn cháy:

$$m_b C_{v,b} \frac{dT_b}{d\theta} = \hat{Q}_b - P \frac{dV_b}{d\theta} + \hat{m}_b C_{p,u} T_u - C_{v,b} T_b - \Delta h_f \quad (25)$$

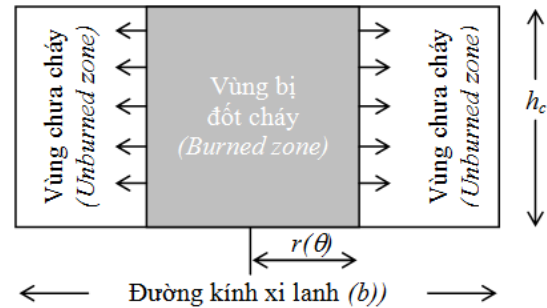
Tích phân trong khoảng $\Delta\theta$ và áp dụng lý thuyết về giá trị trung bình, ta được:

$$T_{\varepsilon,b} = \frac{1}{C_{v,b}} \left(C_{p,u} T_u + |\Delta h| - \frac{P_{\varepsilon} V_{\varepsilon,b}}{M_{\varepsilon,b}} \right) \quad (26)$$

Ở đây, $M_{\varepsilon,b}, P_{\varepsilon}, V_{\varepsilon,b}$ là các giá trị tức thời (tương ứng với góc đánh lửa $(\theta_s + \varepsilon)$) và $T_{\varepsilon,b}$ là giá trị nhiệt độ ban đầu của vùng khí cháy ngay sau khi bugi bật tia lửa ($T_{\varepsilon,b} = T_b(\theta_s + \varepsilon); V_{\varepsilon,b} = V_b(\theta_s + \varepsilon)$).

+ **Sự phát triển của quá trình cháy và sự lan truyền của màng lửa**

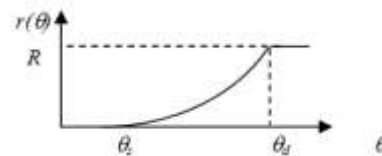
Việc lan truyền màng lửa phụ thuộc nhiều vào hình dạng của buồng đốt. Giả sử vùng hòa khí bị đốt cháy và chưa cháy có cùng chiều cao h_c với xilanh và được mô tả như H. 2.



H.2 Sơ đồ mặt cắt buồng đốt

Ở đây, $r(\theta)$ là bán kính lan truyền của màng lửa.

Theo [6], sự thay đổi của bán kính màng lửa so với góc quay của trục khuỷu $r(\theta)$ có dạng như H. 3.



H.3 Quan hệ giữa θ và bán kính màng lửa

Nếu không có yêu cầu cao về độ chính xác của mô hình, có thể giả sử r phân bố tuyến tính dạng:

$$r(\theta) = A(\theta) + B \quad (27)$$

Khi bắt đầu bật tia lửa, $r(\theta_s) = 0$ và khi màng lửa lan truyền đến thành xilanh, $r(\theta_d) = R = b/2$. Thay vào (27) để tìm ra A và B và viết lại (27) ta được:

$$r \theta = \frac{R}{\theta_d - \theta_s} \theta - \theta_s \quad (28)$$

Chiều cao h của xi lanh phụ thuộc vào vị trí của pittông (tức $h = h(\theta)$) và được tính bởi:

$$h = \frac{v}{\pi R^2} \quad (29)$$

Phần thể tích chiếm chỗ của khí cháy và khí chưa cháy được xác định:

$$V_b = \pi \cdot h \cdot r^2 = \frac{1}{R^2} \cdot v \cdot r^2 \quad (30)$$

$$\frac{dV_b}{d\theta} = \frac{r^2}{R^2} \frac{dv}{d\theta} + \frac{2v \cdot r}{R^2} \frac{dr}{d\theta} \quad (31)$$

$$\text{Thể tích khí chưa cháy: } V_u = v - V_b \quad (32)$$

Giả sử rằng, khối lượng khí cháy m_b tỉ lệ với thể tích

$$\text{khí cháy } V_b, \text{ khi đó: } \frac{m_b}{m} = \frac{V_b}{v} \Leftrightarrow m_b = \frac{m \cdot V_b}{v},$$

Đạo hàm hai vế theo θ ta được:

$$\frac{dm_b}{d\theta} = m \left(\frac{1}{v} \frac{dV_b}{d\theta} - \frac{V_b}{v^2} \frac{dv}{d\theta} \right) \quad (33)$$

Do $m = m_b + m_u = \text{const.}$, nên:

$$\frac{dm}{d\theta} = \frac{dm_b}{d\theta} + \frac{dm_u}{d\theta} = 0 \Rightarrow \hat{m}_b = -\hat{m}_u \quad (34)$$

Phương trình cân bằng năng lượng ở vùng khí chưa cháy:

$$\frac{dU_u}{d\theta} = \hat{Q}_u - P \frac{dV_u}{d\theta} - \hat{m}_b h_u \quad (35)$$

Ngoài ra, $U_u = m_u C_{v,u} T_u + h_{f,u}$, do đó:

$$\frac{dU_u}{d\theta} = \frac{dm_u}{d\theta} C_{v,u} T_u + h_{f,u} + m_u C_{v,u} \frac{dT_u}{d\theta} \quad (36)$$

$$h_u = C_{p,u} T_u + h_{f,u} \quad (37)$$

Thay vào (35) và rút gọn, ta được:

$$m_u C_{u,v} \frac{dT_u}{d\theta} = \hat{Q}_u - P \frac{dV_u}{d\theta} + \hat{m}_u (C_{v,u} - C_{p,u}) T_u \quad (38)$$

$$\text{Đối với khí cháy: } \frac{dU_b}{d\theta} = \hat{Q}_b - P \frac{dV_b}{d\theta} + \hat{m}_b h_u \quad (39)$$

Tính toán tương tự, ta có:

$$m_b C_{v,b} \frac{dT_b}{d\theta} = \hat{Q}_b - P \frac{dV_b}{d\theta} + \hat{m}_b (C_{p,u} T_u - C_{v,b} T_b - \Delta h_f) \quad (40)$$

Ngoài ra, từ biểu thức:

$$PV_u = m_u R_u T_u, PV_b = m_b R_b T_b, v = V_u + V_b \quad (41)$$

Suy ra:

$$\frac{dP}{d\theta} = \frac{1}{v} \left(\hat{m}_u R_u T_u + \hat{m}_b R_b T_b + m_u R_u \frac{dT_u}{d\theta} + m_b R_b \frac{dT_b}{d\theta} - P \frac{dv}{d\theta} \right) \quad (42)$$

+ *Kết thúc quá trình cháy*

Màng lửa tiến đến thành xi lanh là kết thúc quá trình cháy khi $r = R$.

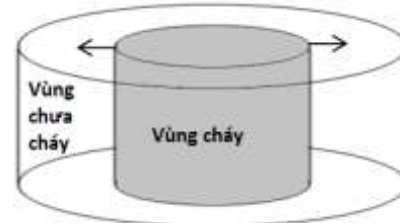
Mô hình truyền nhiệt tương tự trước, tuy nhiên khi sử dụng mô hình với hai vùng đã cháy và chưa cháy,

trong khi quá trình cháy diễn ra, lượng nhiệt tỏa ra từ vùng đã cháy và vùng chưa cháy là khác nhau.

Áp dụng phương trình đối lưu của Newton:

$$\hat{Q} = K_T(\theta) A_h(\theta) (T(\theta) - T_h) / N \quad (43)$$

Điều thay đổi duy nhất ở mô hình hai vùng này là việc thể hiện diện tích vùng đã cháy và vùng chưa cháy như H. 4 dưới đây.



H.4 Biến thiên vùng cháy và chưa cháy khi đốt

Diện tích vùng cháy thay đổi theo bán kính cháy:

$$A_{h,b} = \pi \cdot r^2 \quad (44)$$

Diện tích vùng chưa cháy:

$$A_{h,u} = A_h - A_{h,b} \quad (45)$$

Như vậy, công suất nhiệt tỏa ra của vùng cháy và vùng chưa cháy là:

$$\hat{Q}_{h,b} = -K_{T,b} A_{h,b} (T_b - T_h) / N \quad (46)$$

$$\text{với } K_{T,b} = P^{0,75} N^{0,75} S^{0,75} b^{-0,25} T_b^{-0,465} / 100 \quad (47)$$

$$\hat{Q}_{h,u} = -K_{T,u} A_{h,u} (T_u - T_h) / N \quad (48)$$

$$\text{với } K_{T,u} = P^{0,75} N^{0,75} S^{0,75} b^{-0,25} T_u^{-0,465} / 100 \quad (49)$$

Phương trình cân bằng năng lượng và khối lượng của quá trình cháy:

Ở quá trình này, phương trình cân bằng năng lượng trong xi lanh là:

$$\frac{dU}{d\theta} = \hat{Q} - \hat{W} \quad (50)$$

Khi cả hai van đều đóng,

$$\frac{dm}{d\theta} = \hat{m}_i = \hat{m}_e = 0; \hat{H}_i = \hat{H}_e = 0 \quad (51)$$

Do đó:

$$\frac{dU}{d\theta} = m \left[(\Delta C_v T + \Delta h_f) \frac{dx}{d\theta} + (x \Delta C_v + C_{v,u}) \frac{dT}{d\theta} \right] \quad (52)$$

Giả sử hòa khí là khí lý tưởng, áp dụng biểu thức:

$$P = \frac{mRT}{V} \text{ với } R = xR_b + (1-x)R_u,$$

Thay vào (18) ta được:

$$\hat{W} = m(xR_b + (1-x)R_u) \frac{T}{V} \frac{dV}{d\theta} \quad (53)$$

Thay (49), (50) và (51) vào (48) và chuyển vế:

$$m(x \Delta C_v + C_{v,u}) \frac{dT}{d\theta} = \hat{Q} - m(xR_b + (1-x)R_u) \frac{T}{V} \frac{dV}{d\theta} - m \left((\Delta C_v T + \Delta h_f) \frac{dx}{d\theta} \right) \quad (54)$$

Khi đốt cháy hoàn toàn, $x = 1$, cuối cùng ta được:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{\hat{Q}}{m \Delta C_v} - R_b \frac{T}{\Delta C_v V} \frac{dV}{d\theta} \quad (55)$$

Phương trình truyền nhiệt và hệ số truyền nhiệt tương tự các quá trình khác:

$$\hat{Q} = K_T A_h (T - T_h) / N \quad (56)$$

$$\text{với } K_T = P^{0,75} N^{0,75} s^{0,75} b^{-0,25} T^{-0,465} / 100 \quad (57)$$

b) Giai đoạn 2 – gồm các quá trình có sự biến thiên về khối lượng (hòa khí, sản vật cháy) bên trong xilanh. Đó là những quá trình *nạp* và *xả* .

Ở giai đoạn này, sản vật cháy từ buồng đốt được đẩy ra ngoài qua van xả (*từ lúc van xả mở $\theta = \theta_{evo}$ đến van xả đóng, $\theta = \theta_{vvc}$*) và hòa khí được nạp vào buồng đốt qua van nạp (*từ lúc van nạp mở, $\theta = \theta_{ivo}$ đến khi van nạp đóng, $\theta = \theta_{vvc}$*). Giai đoạn này cũng được mô tả trên cơ sở áp dụng hai định luật nhiệt động.

Động cơ CFR khi thực hiện việc thử nghiệm để xác định trị số octan nghiên cứu (RON) được quy định các điều kiện làm việc nhất định, bao gồm chế độ đóng mở các van như sau [1], [10]:

– Van nạp mở tại $\theta_{ivo} = 10^{\circ}ATDC$ và đóng tại $\theta_{vvc} = 34^{\circ}ABDC$;

– Van xả mở tại $\theta_{evo} = 40^{\circ}BBDC$ và đóng tại $\theta_{vvo} = 15^{\circ}ATDC$.

+ *Quá trình xả* :

Phương trình cân bằng năng lượng và khối lượng:

$$\frac{dU}{d\theta} = \hat{Q} - \hat{W} - \hat{H}_e \quad (58)$$

Do van nạp đóng nên $\hat{m}_i = \hat{H}_i = 0$ và van xả mở nên

$$\frac{dm}{d\theta} = -\hat{m}_e = -\hat{m}_b \quad (59)$$

$$\text{Ngoài ra ta có: } u = C_{v,b} T + h_{f,b} \quad (60)$$

$$\text{và } \hat{H}_e = \hat{m}_b (C_{p,b} T + h_{f,b}) \quad (61)$$

$$\text{Vi chỉ có khí đã cháy nên: } \hat{W} = \frac{mR_b T}{V} \frac{dV}{d\theta} \quad (62)$$

Đạo hàm của tổng nội năng U :

$$\frac{dU}{d\theta} = \frac{d(mu)}{d\theta} = m \frac{du}{d\theta} + u \frac{dm}{d\theta} \quad (63)$$

Thay (58), (59), (60), (61) và (62) vào (57):

$$m \frac{du}{d\theta} - u \hat{m}_b = \hat{Q} - \hat{W} - \hat{m}_b (C_{p,b} T + h_{f,b}) \quad (64)$$

Sau các bước tính toán, ta được:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{\hat{Q}}{mC_{v,b}} - \frac{R_b T}{C_{v,b} V} \frac{dV}{d\theta} - \frac{\hat{m}_b R_b T}{mC_{v,b}} \quad (65)$$

+ *Quá trình nạp* :

Phương trình cân bằng năng lượng và khối lượng:

$$\frac{dU}{d\theta} = \hat{Q} - \hat{W} + \hat{H}_i \quad (66)$$

$$\text{Do van xả đóng nên } \hat{m}_e = \hat{H}_e = 0, \quad \frac{dm}{d\theta} = \hat{m}_i \quad (67)$$

Tính toán tương tự quá trình xả, ta được:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{\hat{Q}}{mC_{v,u}} - \frac{R_u T}{C_{v,u} V} \frac{dV}{d\theta} + \frac{\hat{m}_u}{mC_{v,u}} (C_{p,u} T_u - C_{v,u} T) \quad (68)$$

Ở hai quá trình nạp và xả, áp suất trong xilanh hầu như không biến thiên theo góc quay.

3. Kết quả mô phỏng

3.1 Thông số mô phỏng

Các thông số chính phục vụ việc mô phỏng được lấy từ [1], [8] và [10] và trình bày tại Bảng 1.

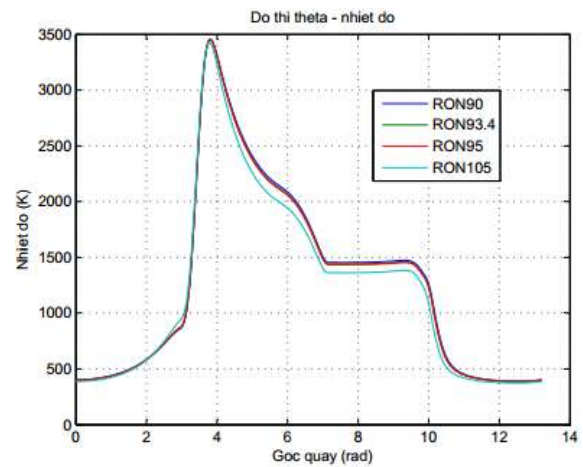
Bảng 1. Thông số phục vụ mô phỏng

Tên thông số	Đơn vị tính	Giá trị
Thể tích dịch chuyển của pittông	m ³	611 x 10 ⁻⁶
Chiều dài thanh truyền	m	0,254
Hành trình của pittông	m	0,1143
Đường kính xilanh	m	0,08255
Góc đánh lửa	rad	0,9278π
Thời gian cháy	rad	0,33π
Nhiệt độ khí nạp	K	328
Áp suất khí nạp	kPa	101
Áp suất khí xả	kPa	150
Góc mở van nạp	rad	3,0556π
Góc đóng van nạp	rad	4,1889π
Góc mở van xả	rad	1,7778π
Góc đóng van xả	rad	3,0833π
Độ nâng van nạp, xả	m	0,006
Đường kính ống nạp	m	0,032
Đường kính ống xả	m	0,028
Đường kính thân van	m	0,0095
Tốc độ động cơ	Vòng/phút	600
Nhiệt độ thành xilanh	K	373

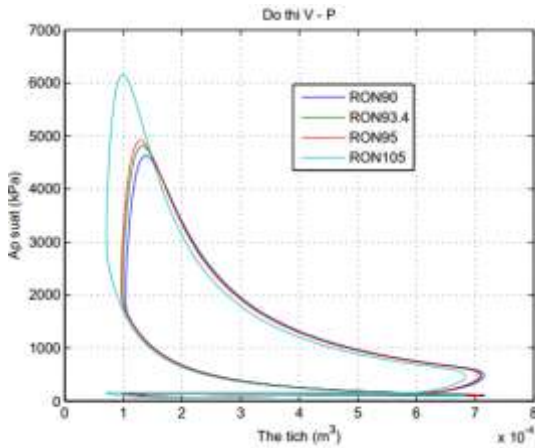
Lưu ý rằng, tốc độ và nhiệt độ thành xilanh của động cơ CFR trong hệ thống thử nghiệm trị số octan được duy trì ổn định. Ở điều kiện thử nghiệm xác định RON, tốc độ quy định là 600 vòng/phút và nhiệt độ duy trì ở 100⁰ C (tương đương 273 K) [1].

3.2 Kết quả mô phỏng

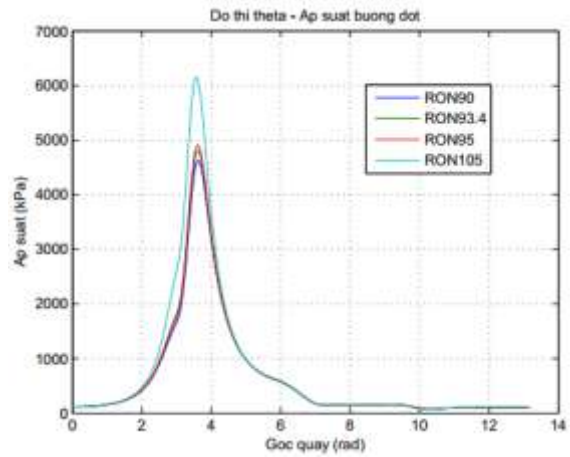
Trên cơ sở các phương trình động học, sử dụng Matlab để mô phỏng và có các kết quả như sau:



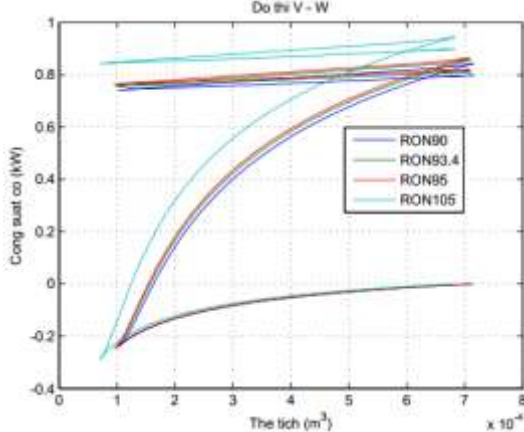
H.5 Biến thiên nhiệt độ theo góc quay



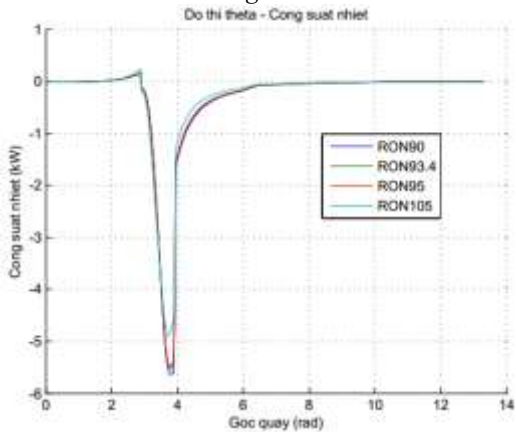
H.6 Biến thiên áp suất theo thể tích



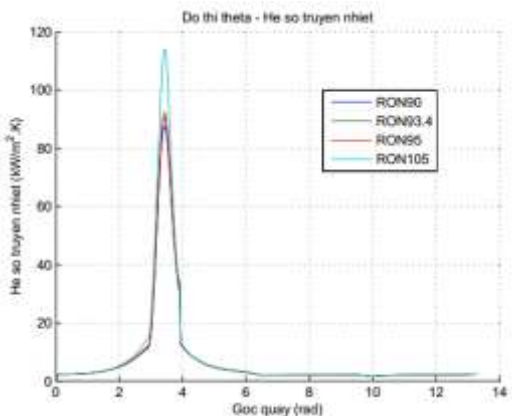
H.10 Biến thiên áp suất theo góc quay



H.7 Biến thiên công suất cơ theo thể tích



H.8 Biến thiên công suất nhiệt theo góc quay



H.9 Biến thiên hệ số truyền nhiệt theo góc quay

3.3 Nhận xét

Việc mô phỏng được thực hiện với các giá trị octan khác nhau (RON 90, RON 93,4, RON 95, RON 105). Đây là các giá trị phổ biến với các loại xăng thông thường (RON 92, RON 95) và giá trị chuẩn kiểm tra.

Qua kết quả mô phỏng ta có các nhận xét sau:

H. 5: ta thấy nhiệt độ buồng đốt biến thiên theo góc quay phù hợp với quá trình nạp, nén, đốt cháy và xả của động cơ đốt trong, đó là khi nén và cháy nổ, nhiệt độ hòa khí tăng nhanh đến cực đại và giảm dần theo quá trình cháy, xả và nạp hòa khí mới vào.

H. 6: quan hệ P-V có dạng chu trình lý tưởng được Otto đưa ra đối với động cơ đánh lửa 4 kỳ một xilanh.

H. 7, H. 8, H. 9 và H.10: thể hiện các quan hệ về công suất cơ, công suất nhiệt, hệ số truyền nhiệt và biến thiên áp suất theo góc quay trục khuỷu có dạng phù hợp với đặc điểm chung của một động cơ đốt trong đốt cháy cưỡng bức bằng bugi đặt trong buồng đốt.

Tuy nhiên, với động cơ CFR là động cơ chuẩn có tỉ số nén thay đổi, để xác định trị số octan nhiên liệu, người ta có thể duy trì cường độ gõ ở mức quy định (được đo thông qua cảm biến độ gõ đặt trong buồng đốt – là tín hiệu biến thiên của áp suất theo góc quay trục khuỷu, $dP/d\theta$). Biến thiên này được xác định theo các phương trình (24) và (42). Ở hai phương trình này, $dP/d\theta$ là hàm phụ thuộc vào thông số trạng thái của khí cháy và khí chưa cháy (T_b, T_w, v, x, \dots), các thông số trạng thái này lại phụ thuộc vào các thông số đầu vào như nhiệt độ làm mát thành xilanh, nhiệt độ khí nạp, tốc độ động cơ, ... Các yếu tố ảnh hưởng đến $dP/d\theta$ nghĩa là ảnh hưởng đến độ gõ (độ kích nổ) của động cơ chuẩn, và do đó gây tác động đến việc xác định trị số octan của nhiên liệu.

Kết luận

Bài báo đã trình bày về động lực học quá trình của động cơ đốt trong CFR dùng trong thử nghiệm trị số octan. Từ các phương trình động học, đã xây dựng được mô hình mô phỏng, kết quả mô phỏng thu được có thể sử dụng để nghiên cứu các nội dung khác liên quan đến động cơ CFR như: nghiên cứu về điều khiển, về chẩn đoán, về ảnh hưởng của các tham số

vận hành động cơ tối chất lượng kết quả thử nghiệm trị số octan.

Tài liệu tham khảo

- [1] ASTM D 2699-12, *Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*, 2012.
- [2] ASTM D 2700-14, *Standard Test Method for Motor Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*, 2014.
- [3] Nguyễn Tất Tiên, *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB Giáo dục, 2010.
- [4] John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw – Hill, Inc., 1988.
- [5] R. Lanzafame, *Water Injection Effects In A Single-Cylinder CFR Engine*, 1999.
- [6] Fernando Echavarria, *Ignition by Air Injection (CIBAI) for Controlled Auto-Ignition in a CFR engine*, Doctor thesis, 2006.
- [7] Alireza, *Optimization and knock modeling of the gas fueled spark ignition engine*, Doctor thesis 1997.
- [8] António Emanuel Figueiredo Costa, *Computer simulation of an internal combustion engine*, Master thesis, 2008.
- [9] Bùi Quốc Khánh, Phạm Quang Đăng, Nguyễn Huy Phương, Vũ Thụy Nguyên, *Điều khiển quá trình*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2014.
- [10] Waukesha CFR F-1 & F-2 Reasearch method (F-1), Motor method (F-2), Octane rating units, Operation & Maintenance, Waukesha, Second edition, 2003.
- [11] Bridget M. Revier, *Phenomena that determine knock onset in Spark – Ignited Engine*, Master thesis, 2006.



Nguyễn Phú Quốc, sinh năm 1972, nhận bằng Thạc sĩ kỹ thuật ngành Tự động hóa – Đại học Bách khoa Đà Nẵng vào năm 2009. Tốt nghiệp Đại học BKĐN năm 1995 và công tác từ đó đến nay tại Trung tâm Kỹ thuật TCĐLCL 2 (QUATEST 2).

Hiện là NCS ngành Điều khiển và tự động hóa – Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Hướng nghiên cứu chính là chẩn đoán và hiệu chỉnh các thiết bị đo lường – thử nghiệm.



Phan Văn Hiến, sinh năm 1961, nhận bằng kỹ sư điện năm 1983 và bằng Tiến sĩ năm 2003 tại Đại học Bách khoa Hà Nội. Giảng viên Khoa Điện – Đại học Bách khoa Đà Nẵng từ 1983 đến nay. Hiện là Phó chủ nhiệm Khoa Điện – Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Lĩnh vực

nghiên cứu: Mạng nơron, mô hình hóa, tự động hóa.



Bùi Quốc Khánh, sinh năm 1947, nhận bằng kỹ sư Điện 1970 tại Trường đại học Bách khoa Hà Nội, Bằng phó Tiến sĩ của Trường CVUT Praha Cộng hòa Sec 1982, được phong hàm Phó giáo sư 1996. Tham gia giảng dạy, nghiên cứu lĩnh vực: Điện tử công suất, Truyền động điện, Điều khiển quá trình và Điều khiển-Tự động hóa quá trình công nghệ.