



# Cơ sở dữ liệu cho xác định các quá trình công tác trong động cơ diesel hai kỳ tàu biển

■ **THS. NGUYỄN XUÂN TRỤ; THS. NGÔ ĐỨC VƯỢNG; THS. BÙI MINH TUẤN**

*Viện Kỹ thuật Hải quân (Bộ Tư lệnh Hải quân)*

■ **PGS. TSKH. ĐỖ ĐỨC LƯU**

*Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

Email liên hệ: luudd@vimar.edu.vn

**TÓM TẮT:** Bài báo xây dựng dữ liệu cho tự động xác định các quá trình công tác (QTCT) trong động cơ diesel tàu biển (MDE). Đối tượng áp dụng là động cơ 6G70ME9,2. Dữ liệu đầu vào cho nghiên cứu gồm: (a) dữ liệu đưa ra từ CEAS (Computerized Engine Application System); (b) kết quả thử nghiệm tại xưởng cho động cơ; (c) các hệ số lựa chọn theo lý thuyết động cơ đốt trong. Các tác giả thu được các mô hình hồi quy, có độ tin cậy cao (99% theo tiêu chuẩn thống kê Fisher). Cơ sở dữ liệu thu được: tập hợp các thông số đặc trưng cho đồ thị công tại từng chế độ vòng quay [48,5... 77] (v/ph) của 6G70ME9,2 với vòng quay định mức 77 (v/ph), công suất 17.300 (kW).

**TỪ KHÓA:** CEAS, mô hình hồi quy, mô phỏng đồ thị công, MAN-B&W 6G70MEC 9,2.

**ABSTRACT:** The article builds the database for automatic calculation of the in-side cylinder pressure for defining working processes of the marine diesel engines. The initial data for studying were: (a) The CEAS (Computerized Engine Application System); (b) the technical document of the engine's shop trial; (c) the coefficients selected from the Internal Combustion Engine theory. The authors obtained the regressive models with 99% confidence in accordance with the F-statistic Fisher criteria. There were received the sets of particular parameters of the indicator diagram at every rotary speed in the range:  $n_E = [48,5...77]$  rpm for the engine with the maximal continuous rate 77 (rpm) and output 17300 (kW).

**KEYWORDS:** CEAS, regressive models, simulation of the indicator diagram, MAN-B&W 6G70MEC9,2.

lớn thường xuất hiện các dao động xoắn cộng hưởng hiểm cũng như dao động dọc trục lớn, cần tính toán cũng như có biện pháp giám sát cần thiết, ví dụ trên các động cơ MAN-B&W [5-7]. Nghiên cứu, tính hai dạng dao động xoắn và dọc cho hệ trục chính công suất lớn sử dụng diesel hai kỳ là rất cần thiết và đều cần xác định áp suất cháy trong các xy-lanh ở các chế độ vòng quay cũng như trạng thái cháy của các xy-lanh.

Các QTCT của MDE được quan tâm gồm: nạp, nén, cháy - dẫn nở đặc trưng bởi các thông số áp suất và nhiệt độ:  $(P_a, T_a)$  - Điểm bắt đầu nén;  $(P_c, T_c)$  - Điểm kết thúc nén;  $(P_{c'}, T_{c'})$  - Điểm có áp suất cháy cực đại;  $(P_b, T_b)$  - Điểm kết thúc dẫn nở. Các thông số này thường được đưa ra từ hồ sơ kỹ thuật của động cơ [6,7]. Một số dạng động cơ mới của hãng MAN-B&W, ví dụ 6G70MEC, các đặc tính cũng như thông số kỹ thuật không công bố theo phương pháp truyền thống (bản giấy hoặc file \*.pdf) mà thông tin được đưa ra từ máy tính với phần mềm chuyên dùng CEAS của hãng [4]. Để nghiên cứu sâu các quá trình xảy ra trong xy-lanh, ta cần thêm thông tin về áp suất cực đại (nén  $P_c$  và cháy  $P_{c'}$ ) [6,7], kết hợp với lý thuyết về động cơ đốt trong để xác định thời điểm bắt đầu và kết thúc các kỳ nén, xả; các hệ số đặc trưng của quá trình nén, cháy, dẫn nở sinh công.

Tập dữ liệu đặc trưng theo từng chế độ khai thác (vòng quay  $n$ , v/ph hay chỉ báo tải LI%) là quan trọng để xây dựng đồ thị công và xác định các ngoại lực động, cưỡng bức cho các bài toán động lực học của hệ trục. Mục tiêu đặt ra của bài báo: Xây dựng cơ sở dữ liệu số cho đồ thị công để ứng dụng cho nghiên cứu lực và mô-men khí thể sinh ra tại từng xy-lanh của động cơ theo từng chế độ vòng quay, góp phần ứng dụng và phát triển được phần mềm tự động tính dao động xoắn hệ trục chính [3]. Đối tượng được áp dụng là động cơ MAN-B&W 6G70MEC trên cơ sở hồ sơ kỹ thuật đưa ra từ CEAS và kết quả thử nghiệm tại xưởng và trên tàu NSU TRUST [6,7], phù hợp khi tính dao động xoắn hay dao động dọc hệ trục khi đóng mới.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lực cưỡng bức dọc trục sinh ra từ áp suất khí thể trong các xy-lanh là một trong các nguyên nhân gây ra dao động lớn dọc trục. Lực khí thể còn tạo ra mô-men xoắn cưỡng bức, sinh ra các dao động xoắn cưỡng bức cho hệ trục chính [3]. Đối với tàu biển dùng máy chính diesel hai kỳ công suất

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đầu vào cho xây dựng cơ sở dữ liệu

#### 2.1.1. Dữ liệu từ CEAS

Động cơ 6G70MEC9,2 theo nghĩa của ký hiệu [5]: 6 xy-lanh; hành trình piston rất lớn (G - Green' Ultra long stroke,  $S=3.265$  mm); đường kính xy-lanh  $D=700$  mm; hoạt động

theo chương trình (M - engine programme); điều khiển điện (E - electronically controlled); gọn (C - compact); số ký hiệu 9 (mark number); số phiên bản 5 (version number). Động cơ có thể hoạt động với lượng nhiên liệu: khí hóa lỏng và FO theo chương trình (ký hiệu GI). Tuy nhiên, ký hiệu của động cơ nghiên cứu không có GI, tàu lắp động cơ này chỉ dùng dầu đốt [5-7], nên bài báo chỉ xét đến sử dụng FO.

Đối với 6S70MEC9,2: CEAS [4] đưa ra bảng dữ liệu theo tải (LI), LI% = 10...25...100% và thông số khai thác: công suất (kW); vận tốc quay n = [35,7 ... 77] (v/ph); suất tiêu hao nhiên liệu (g<sub>e</sub>, g/kWh); lưu lượng khí xả (kg/s); nhiệt độ khí xả (t<sub>gas</sub>, °C). Tuy nhiên, áp suất khí nạp (tại bầu góp, P<sub>s</sub> (bar)); nhiệt độ khí nạp (t<sub>y</sub>, °C) chỉ trong phạm vi n = [48.5 ... 77], tương ứng với LI = [25... 100]%

Đối tượng: MAN-B&W 6G70MEC được sử dụng trên tàu biển NSU TRUST [6,7] có vòng quay định mức n<sub>nor</sub> = 77 v/ph, hệ trục chính có vùng cấm khai thác (dao động xoắn nguy hiểm nút 1) [35-42] v/ph tại LI < 25%. Khai thác ở vòng quay thấp và LI < 25% thường không ổn định. Tuy nhiên, xét về động lực học (dao động xoắn) của hệ trục, tại vùng khai thác thấp này có thể rơi vào vùng vòng quay nguy hiểm, do vậy khi nghiên cứu tính dao động xoắn hệ trục yêu cầu phải xây dựng được đồ thị công P-V, hay P-φ, với: P (bar), V (m<sup>3</sup>), φ (độ góc quay trục khuỷu).

### 2.1.2. Dữ liệu từ thực nghiệm đo trên động cơ

Kết quả thử động cơ tại xưởng (Shop Trial) [6] ở các chế độ (25 -50 -75 -100)% tải cho: công suất (P<sub>w</sub>); vòng quay n; (g<sub>e</sub>, g/kWh); áp suất và nhiệt độ khí tăng áp (P<sub>z</sub>, T<sub>z</sub>); áp suất nén cực đại (P<sub>c</sub>); áp suất cháy cực đại (P<sub>y</sub>). Theo hồ sơ thử đường dài [7] chỉ thực hiện đến tải LI = 50%. Do vậy, với mục đích đặt ra của bài báo, kết quả thử tại xưởng được sử dụng là phù hợp. Nghiên cứu thêm từ kết cấu của động cơ để có thêm các thông số: tỉ số nén (lý thuyết, ε); tỉ số nén thực tế (ε<sub>tt</sub>); góc bắt đầu cháy; góc kết thúc cháy - dẫn nở.

### 2.1.3. Dữ liệu thống kê từ lý thuyết động cơ

Nhiều hệ số liên quan trong tính toán cần chọn theo lý thuyết động cơ đốt trong. Thông thường, các hệ số đưa ra trong một dải rộng, giúp ta chọn lựa ban đầu. Phần tính chính xác cho đối tượng cụ thể sẽ tích hợp chung sau khi tính tổng thể cho tập các thông số cơ bản và kiểm tra sự phù hợp giữa kết quả tính với số liệu chuẩn (tham chiếu) đưa ra từ hồ sơ kỹ thuật với 2 thông số quan trọng: P<sub>c</sub>, P<sub>z</sub>. Ngoài ra, trong tính nhiệt, nhiệt độ tại điểm T<sub>z</sub> (K) cần thuộc [1800... 2200] [8].

## 2.2. Xây dựng các mô hình toán

Đầu vào và cơ sở dữ liệu tính tại 4 chế độ LI% = 25, 50, 75 và 100, được mô hình hóa để tự động tính cho bất kỳ vòng quay nào trong dải nghiên cứu n = [n<sub>min</sub> n<sub>max</sub>]. Ví dụ, đối tượng được khảo sát là 6G70MEC 9,2 có công suất định mức 17.300 kW tại n = 77 v/ph, thì dải vòng quay khảo sát: n = [48,5... 77].

Các mô hình hồi quy tìm dưới dạng đa thức bậc 2, dạng phương trình (1). Các hệ số được xác định:

$$y = a_1 + a_2 n + a_3 n^2 = \mathbf{aV}; \quad (1)$$

$$\mathbf{a} = [a_1, a_2, a_3]; \mathbf{V} = [1 \ n \ n^2]^T;$$

Ở đó, vector a - Hệ số mô hình được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất các sai số.

## 2.3. Cơ sở lựa chọn các hệ số trong tính nhiệt cho các QTCT

### 2.3.1. Quá trình nạp - nén

Tại một chế độ vòng quay n (v/ph), xác định được thông số đặc trưng:

$$P_s = f_1(n), [\text{bar}]; T_s = t_s + 273 = f_2(n) + 273 \text{ [K]} \quad (2)$$

Nhiệt độ và áp suất tại điểm, a' - bắt đầu nén [1], với động cơ hai kỳ quét thẳng:

$$T_a = T_s + \Delta T_a + 1,1 \cdot \gamma_r \cdot T_r \quad (3)$$

$$P_a = kPa \cdot P_s; kPa = (0,85 - 1,05) \quad (4)$$

Ở đó: hệ số khí sót γ<sub>r</sub> = 0,12 - 0,05; áp suất khí sót P<sub>r</sub> = k<sub>r</sub> P<sub>a</sub>, k<sub>r</sub> = 0,89; ΔT<sub>a</sub> = 5-10; nhiệt độ khí sót ban đầu chọn T<sub>r</sub> = (800 - 900) K và được hiệu chỉnh trong quá trình tính, với độ chính xác ΔT<sub>r</sub> < 5%.

Giả thiết quá trình nạp nén theo quy luật đa biến trung bình với hệ số đa biến trung bình n<sub>1</sub> được xác định theo các giá trị áp suất và thể tích điểm đầu và cuối kỳ nén (liên quan đến tỉ số nén thực tế). Từ số liệu tham chiếu (P<sub>z</sub>) tại từng chế độ LI, ta có:

$$P_a V_a^{n_1} = P_z V_z^{n_1}; n_1 = |\log(P_z / P_a)| / \log(\epsilon_{tt}) \quad (5)$$

Ở đó, ε<sub>tt</sub> - Tỉ số nén thực tế của động cơ.

Tỉ số nén thực tế ε<sub>tt</sub> được xác định theo hệ số tổn thất hành trình ψ (theo kết cấu của cửa sổ quét khí nạp, điểm bắt đầu nén thực tế khoảng 38 - 45 độ sau điểm chết dưới [1]). Hệ số tổn thất hành trình được xác định:

$$\psi = x_{tt} / S; \epsilon_{tt} = 1 + (\epsilon - 1)(1 - \psi) \quad (6)$$

Nhiệt độ của công chất tại điểm C:

$$T_c = T_a \epsilon_{tt}^{n_1 - 1} \quad (7)$$

### 2.3.2. Quá trình cháy và dẫn nở sinh công

Các thông số đặc trưng cho giai đoạn cháy ban đầu: Hệ số dẫn nở ban đầu ρ = V<sub>z</sub>/V<sub>c</sub> và hệ số tăng áp suất λ = P<sub>z</sub>/P<sub>c</sub>. Đặc điểm của một số động cơ hai kỳ hãng MAN-B&W, trong đó có 6G70 MEC, điểm bắt đầu cháy sau điểm chết trên khoảng 3 - 5 độ. Điểm bắt đầu cháy giả thiết là điểm c':

$$\rho = V_{c'} / V_c; \lambda = P_{c'} / P_c \quad (8)$$

Ta có thể xác định ΔP = P<sub>z</sub> - P<sub>c</sub> [5], hay λ = P<sub>z</sub>/P<sub>c</sub>. Để tính quá trình cháy và dẫn nở, ta sử dụng thông số: lưu lượng khí xả m<sub>gas</sub> (kg/s) mà CEAS cung cấp. Giả thiết rằng lượng khí sót trong tất cả các xy-lanh không đổi trong các chu trình công tác. Ta xác định: m<sub>gas</sub>(n), LI(n) và g<sub>e</sub>(n).

Nhiên liệu tiêu thụ trong một giây m<sub>FOs</sub> xác định từ suất tiêu hao nhiên liệu và công suất N<sub>e</sub> (kW) tại vòng quay n (v/ph). Không khí sạch được nạp vào duy trì hoạt động của động cơ trong thời gian một giây (m<sub>air</sub>) và hệ số dư lượng không khí (α) sẽ là:

$$m_{air} = m_{gas} \cdot 3,6 \cdot LI \cdot N_{en} \cdot g_e, \text{ kg/s}$$

$$\alpha = \frac{m_{air(s)}}{3,6 LI \cdot N_{en} \cdot g_e}, \frac{\text{kg kk}}{\text{kg FO}} \quad (9)$$

Sản vật quá trình cháy và dẫn nở xét tại 3 điểm (bắt đầu cháy c'; z và điểm b) gồm có không khí (kk), với chỉ số 1" và khí cháy (kc, chỉ số 2) với tỉ lệ thành phần phân tử (mol) - g<sub>1</sub> và g<sub>2</sub> tương ứng (g<sub>1</sub>+g<sub>2</sub>=1). Nhiệt dung riêng đẳng áp Cv của từng loại được các định theo mô hình hồi quy [1] cho không khí, khí cháy và hỗn hợp (kk + kc):



Không khí:  $C_{v,1} = 19250 + 2,5T, \text{ J/ kmolK}$

Khí cháy:  $C_{v,2} = 20500 + 3,6T, \text{ J/ kmolK}$

Hỗn hợp:  $C_v = g_1 C_{v,1} + g_2 C_{v,2}$  (10)

Thành phần phân tử và hệ số thay đổi phân tử khí cháy ( $\beta_x$ ) biểu diễn qua hệ số tỏa nhiệt x, được xác định [1,8]:

$$g_{x1} = \frac{\alpha - x + \gamma_r (\alpha - 1)}{\alpha [1 + (\beta_0 - 1)x + \gamma_r]} ;$$
$$g_{x2} = \frac{x [1 + (\beta_0 - 1)\alpha] + \gamma_r}{\alpha [1 + (\beta_0 - 1)x + \gamma_r]} ;$$
 (11)

$$\beta_x = 1 + \frac{(\beta_0 - 1)x}{1 + \gamma_r} ; \beta_0 = 1 + 0,0639 / \alpha$$
 (12)

Tại: c:  $x=0$ ; z:  $x_z = 0,7 - 0,8$ ; b:  $x_b = 0,92 - 0,99$ .

Từ (10), nhiệt dung riêng đẳng tích của sản vật cháy tại các điểm c, z có dạng:

$$C_{v,c} = a_{vc} + b_{vc} T_c ; C_{v,z} = a_{vz} + b_{vz} T_z$$
 (13)

Phương trình xác định nhiệt độ  $T_z$  (K) [1]:

$$b_z [C_{v,z} + R(1 - \frac{1}{\gamma_r})] T_z = \frac{q_z Q_H}{a_{L_0}(1 + g_r)} +$$
 (14)

$$(C_{v,c} + R) T_c ; R = 8314 \text{ J/ molK}$$
 (15)

$$A. T_z^2 + B. T_z - C = 0$$

Ở đó: Các hệ số A, B, C được xác định theo (13). Hệ số sử dụng nhiệt tại điểm z:  $q_z = (0,75-0,85)$  [1] hoặc  $q_z = (0,65-0,85)$  [8].

Nhiệt độ  $T_z$  là nghiệm của phương trình (14), được kiểm tra trong phạm vi: [1800 ... 2200] K cho động cơ diesel [8].

Giai đoạn dẫn nỏ cuối từ z đến b tuân theo quy luật đa biến trung bình, với hệ số đa biến  $n_2$  đồng nhất với hệ số đoạn nhiệt  $k_2$  (dẫn nỏ được xem là giả đoạn nhiệt). Từ đó,  $n_2 = k_2$  [1], theo công thức:

$$k_2 - 1 = \frac{8,314}{a_{vc} + b_{vc} T_z (\delta^{k_2 - 1} + 1)}$$
 (16)

Tại điểm b:

$$T_b = T_z / \delta^{(k_2 - 1)}, [K] ; P_b = P_c / \delta^{k_2}, [Bar]$$
 (17)

### 2.3.3. Kiểm tra nhiệt độ khí sót cuối quá trình dẫn nỏ

Nhiệt độ khí sót được tính lại như sau:

$$T_r^* = T_b (P_b / P_r)^{1,5}, [K]$$
 (18)

Nhiệt độ khí sót CT.(19) được so với nhiệt độ khí sót chọn ban đầu. Độ lệch tương đối  $dT_r$  giữa chúng và khi  $\delta T_r > 5\%$  cần điều chỉnh  $T_r$  và quay lại các tính toán cho các quá trình [2].

## 2.4. Thuật toán và chương trình mô phỏng

### 2.4.1. Thuật toán tính các thông số quan trọng tại từng chế độ vòng quay

Xét cho đối tượng 6G70MEC9,2. Tại một trong 4 mức tải LI% = 25, 50, 75 và 100, tương ứng  $n = [48,5, 61,1, 70, 77]$  (v/ph), chúng ta xây dựng thuật toán và phần mềm tính các thông số cơ bản: nhiệt độ và áp suất tại các điểm a, c, z và b. Liên quan đến chúng đồng thời xác định các chỉ số đa biến trung bình  $n_1$  (nén), hệ số  $\rho$  - tỉ số dẫn nỏ thể tích ban đầu, chỉ số đoạn nhiệt  $k_2$ . Thuật toán được thực hiện theo các bước dưới đây.

- Bước 1. Từ hồ sơ thử tàu chúng ta có bộ dữ liệu chuẩn và kết hợp với dữ liệu nhập vào từ CEAS cho động cơ. Lựa chọn thêm hệ số sử dụng nhiệt  $q_z$  (n) tại điểm z theo vòng quay tương ứng với LI%. Tại bước này cần xác định  $\epsilon, \epsilon_{tt}$ .

- Bước 2. Các thông số quá trình nạp:

B2.1. Giả thiết chọn  $T_r = 786$  K. Tính  $P_a$  theo (4).

B.2.2. Tính  $T_a$  theo (3).

- Bước 3. Các thông số quá trình nén.

Tính  $n_1$  theo (5). Xác định  $T_c$  và  $P_c$  theo (5-7).

Bước 4. Các thông số quá trình cháy - dẫn nỏ.

B4.1. Tính  $\rho, \delta$  theo (8). Tính  $\alpha$  theo (9).

Xác định  $T_z$  theo (15).

B4.2. Tính  $k_2$  theo (16) và  $T_r, P_b$  theo (17).

Bước 5. Xác định lại nhiệt độ khí sót và kiểm tra độ chính xác của nhiệt độ này theo (18). Nếu độ chính xác đạt yêu cầu, chuyển tới bước 6. Nếu không đạt độ chính xác cần thiết, thay  $T_r = T_r^*$  và quay về B4.2.

Bước 6. Xuất và lưu trữ dữ liệu tính được tương ứng với  $n_e$  đã chọn. Thực hiện cho các vòng quay còn lại.

### 2.4.2. Lập trình trên LabView xây dựng dữ liệu số cho xác định QTCT của động cơ 6G70 MEC 9,2

Biến điều khiển n (v/ph) được lập trình trong Math-Script để tạo vector điều khiển  $n = 48 \dots 77$  với bước 1 v/ph (tổng số  $m = 30$  lần). Tại mỗi vòng quay  $n(k), k = 1 \dots m$  sẽ thực hiện chương trình để đưa ra tập dữ liệu là các thông số quan trọng đặc trưng cho chu trình công tác của đối tượng nghiên cứu tại vòng quay tương ứng. Quá trình này được code theo cấu trúc lặp "For" của LabView. Kết quả tại mỗi vòng quay  $n(k)$  được ghi vào một dòng của ma trận dữ liệu kết quả đầu ra, có kích thước  $m \times p$ , với p ( $p = 18$  thông số đầu ra), được lưu lại trong file định dạng \*.tdms. Tổ chức lập trình tạo ma trận này với cấu trúc "For" được thực hiện theo phương thức "Tunnel" trong LabView.

Phần mềm mô phỏng tính các thông số cơ bản nêu trên bao gồm các mô-đun (VI) sau đây: (a) - VI tính (mô phỏng cho một chế độ vòng quay); (b) - VI xây dựng mô hình hồi quy cho từng tham số cần thiết; (c) - VI tính giá trị hàm số (thông số) liên quan; (d) - VI tích hợp tính và lưu trữ cơ sở dữ liệu tính được cho toàn dải vòng quay nghiên cứu.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xác định tỉ số nén

Với động cơ G70MEC,  $S = 3.256$  (mm) theo hồ sơ đưa ra và chiều cao buồng đốt 160 (mm) đo trực tiếp khi thay piston. Ta thu được  $\epsilon = 1 + 3256 / 160 = 21,35$ .

Động cơ hai kỳ có tổn hao hành trình. Góc bắt đầu nén  $\varphi_{sc} = (38-45)$  độ sau điểm chết dưới [1]. Kiểm tra trực tiếp trên động cơ thực tàu NSU TRUST,  $\varphi_{sc} = 38$ . Tính được:  $\psi = 0,10589$ . Với  $\epsilon = 21,35; \epsilon_{tt} = 19,47$ .

### 3.2. Các giá trị đặc trưng của đồ thị công ở chế độ LI% = 25-50-75 và 100%

Trong Bảng 3.1 đưa ra kết quả mô phỏng tính ở 4 chế độ tải tương ứng với số liệu tham chiếu đưa ra từ kết quả thử tại xưởng cho động cơ 6G70MEC9.2.

**Bảng 3.1. Kết quả mô phỏng và tham chiếu các thông số cơ bản các QTCT của 6G70MEC9,2 tàu NSU TRUST, n = 77 v/ph, công suất 17.300 kW**

TT	Thông số	Đơn vị	LI 25%	LI 50 %	LI 75%	LI 100%
1	Vòng quay	v/ph	47,5	61,1	70	77
2	$g_1$ theo MP	g kWh	173,2	166,1	162,9	166,1
	$g_1$ theo SH-Tr	g kWh	172,9	166,1	162,9	166,0
3	$P_1$ theo MP	bar	1,61	2,39	3,31	4,38
	$P_1$ theo SH-Tr	bar	1,61	2,39	3,31	4,39
4	$T_1$ theo MP	°C	35	31	34	39
	$T_1$ theo SH-Tr	°C	34,6	31,3	34	38,5
5	$P_2$ theo MP	bar	1,273	2,237	2,624	3,335
	$P_2$ theo SH-Tr	bar	1,273	2,237	2,624	3,335
6	$P_3$ theo MP	bar	71,5	99,5	137,2	169,3
	$P_3$ theo SH-Tr	bar	71,7	99,7	137,3	168,3
7	$P_4$ theo MP	bar	99,5	135,5	170,2	185,3
	$P_4$ theo SH-Tr	bar	99,0	135,7	170,2	184,5
8	$P_5$ - MP	bar	4,110	5,966	8,271	10,228
9	$T_2$ - MP	K	343	351	344	348
10	$T_3$ - MP	K	1041	994	964	947
11	$T_4$ - MP	K	1972	1967	1939	1859
12	$T_5$ - MP	K	1107	1111	1109	1073
13	$n_1$ - MP	-	1,361	1,348	1,336	1,326
14	$g_2$ - MP	-	0,6708	0,7568	0,8428	0,8428
15	$\alpha$ - MP	-	1,577	1,7119	1,88298	1,9759
16	$\rho$ - MP	-	1,4163	1,5052	1,6732	1,8491
17	$\delta$ - MP	-	13,648	12,8413	11,5523	10,4535
18	$dP_1$ - MP	bar	28	36	33	16

Ghi chú: SH-Tr: thử nghiệm tại xưởng; MP - mô phỏng;  $dP_1 = (P_2 - P_1)_{REF}$   
 $q_2$  - hệ số sử dụng nhiệt tại điểm z;  $n_1$  - hệ số đa biến trung bình quá trình nén

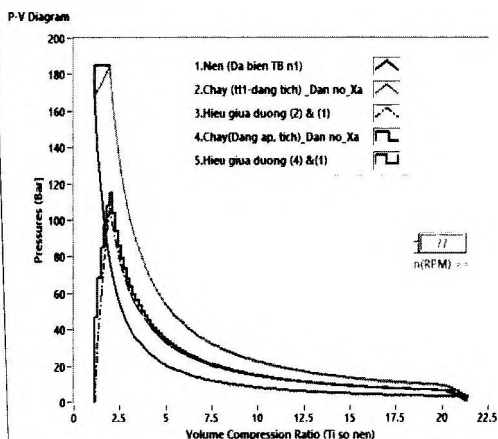
Kết quả mô phỏng các thông số cơ bản: áp suất và nhiệt độ tại các điểm "a", "c" và "z" và so sánh với các giá trị tham chiếu tương ứng. Các thông số dùng làm hiệu chỉnh đều nằm trong miền giá trị tương ứng theo lý thuyết động cơ đốt trong, song được lựa chọn sao cho giá trị áp suất nén và áp suất cháy cực đại phù hợp (gần chính xác) với số liệu thử nghiệm và nhiệt độ  $T_z$  nằm trong phạm vi [1800-2000] K trong khi duy trì suất tiêu hao nhiên liệu mô phỏng giống với số liệu tham chiếu.

### 3.3. Tập mô hình hồi quy theo biến n (v/ph)

Tập các mô hình hồi quy thu được có dạng đa thức bậc hai hoặc bậc nhất, có độ tin cậy cao, đều đạt 99% theo tiêu chuẩn thống kê Fisher, gồm:  $L_1(n)$ ;  $g_1(n)$ ;  $P_1(n)$ ;  $T_1(n)$ ;  $P_2(n)$ ;  $P_3(n)$ ;  $P_4(n)$ ;  $T_2(n)$ ;  $T_3(n)$ ;  $T_4(n)$ ;  $T_5(n)$ ; hệ số đa biến trung bình  $n_1(n)$ ; tỉ số thể tích dẫn nở ban đầu  $\rho(n)$ .

### 3.4. Xây dựng đồ thị công P-V tại chế độ vòng quay định mức n = 77 v/ph cho 6G70MEC9,2

Sau khi thu thập được tập dữ liệu, vẽ đồ thị công dưới dạng P-V cho một chế độ vòng quay được nghiên cứu, ví dụ tại  $n = 77$  v/ph (Hình 3.1).



**Hình 3.1: Mô phỏng đồ thị công P-V tại n=77 v/ph của động cơ diesel máy chính tàu NSU TRUST**

Trên Hình 3.1, đồ thị công bao gồm các đường thành phần ứng với các quá trình: quá trình nén (ký hiệu số 1 trong chú giải), quá trình cháy - dẫn nở và xả - các đường (2 và 4) phụ thuộc vào việc mô phỏng quá trình cháy đẳng tích ( $P = P_2$ ) hay theo quy luật tuyến tính. Hiệu của quá trình cháy - dẫn nở - xả và đường nén cho ta đường đặc trưng cho quá trình cháy của động cơ (đường 3 hoặc 5). Nếu trong xy-lanh không có quá trình cháy (Misfire), hai đường (3 và 5) đều nằm trên trục hoành ( $P = 0$ ).

## 4. KẾT LUẬN

Các mô hình toán hồi quy thu được từ dữ liệu đưa ra do: CEAS; hồ sơ thử động cơ tại xưởng cũng như từ lý thuyết động cơ đốt trong đảm bảo độ tin cậy 99% (theo tiêu chuẩn thống kê Fisher) giúp cho tính tự động các QTCT của động cơ.

Thuật toán và lập trình code trên LabView cho tính nhiệt đối với động cơ 6G70MEC 9,2 sẽ hiệu quả và tiện ích khi mô phỏng xây dựng đồ thị công. Kết quả mô hình toán và phần mềm mô phỏng có thể dùng để xây dựng lực và mô-men cưỡng bức trong nghiên cứu động lực học của hệ động lực chính khi dùng 6G70 MEC 9,2.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. GEORGIEV V. D. (2000), *Động cơ diesel tàu thủy, Varna*, Đại học Tổng hợp Kỹ thuật, TP Varna (tiếng Bulgari).
- [2]. Lukanhina V. và Strova M. (Chủ biên) (2005), *Động cơ đốt trong*, NXB. Mat-x-cơ-va "Vusaia Scola" (tiếng Nga).
- [3]. Luu D D, Hanh C D (2020), *Automatic calculation of torsional vibrations on marine propulsion plant using marine two-stroke diesel engine: Algorithms and Software*, Journal of IEIC. ISSN: 250-0553, <https://doi.org/10.1007/s40032-020-00626-y> LNNS, Springer, ISBN 978-3-030-04792-4.
- [4]. MAN-B&W, *CEAS engine calculations*, <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>, truy cập tháng 9/2021.
- [5]. MAN-B&W. *G70ME-C9.5-GI-TII, Project Guide Electronically Controlled Dual Fuel Two-stroke Engines*.
- [6]. MV.NSU TRUST (JUN, 02, 2016), *Results of shop trial (6G7 MEC 9,2)*.
- [7]. MV.NSU TRUST (NOV, 14, 2016), *Results of sea trial (machinery part) and TV Measurement*.
- [8]. Nguyễn Tất Tiến (2010), *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB. Giáo dục Việt Nam.

**Ngày nhận bài: 10/11/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 17/12/2021**

**Người phản biện: PGS. TS. Trương Văn Đạo**

**PGS. TS. Nguyễn Huy Hòa**