



NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU (MAP) ĐIỀU KHIỂN THỜI GIAN CẤP NHIÊN LIỆU ĐỘNG CƠ CHO ĐỘNG CƠ DIESEL WEICHAİ WP5

Đặng Văn Uy^{1*}, Phạm Xuân Dương², Lương Duy Đông³

Tóm tắt: Bài báo này nghiên cứu phương án xây dựng bộ dữ liệu sẽ dùng để nạp vào ECU (Engine Control Unit) của động cơ, qua đó điều khiển quá trình phun của động cơ Diesel mà cụ thể ở bài báo này là động cơ của hãng Weichai WP5. Việc xây dựng bộ dữ liệu chuẩn của thời gian cấp nhiên liệu theo từng chế độ tải sẽ giúp động cơ làm việc một cách hiệu quả, giảm thiểu được suất tiêu hao nhiên liệu và khí thải độc hại phát ra ngoài môi trường. Từ bộ dữ liệu chuẩn này, người thiết kế có thể định chuẩn chi tiết đối với một loại động cơ cụ thể, nhờ đó tối ưu hóa các thông số kỹ thuật và khai thác của động cơ.

Từ khóa: Động cơ diesel; Bộ điều khiển điện tử (ECU); Bộ dữ liệu; thời gian cấp nhiên liệu; suất tiêu hao nhiên liệu.

Research on establishing the map of controlling injection timing for weichai diesel engine WP5

Abstract: This article researches about establishing the map (data base) of controlling injection timing which will be used for ECU (Engine Control Unit) of an electronic controlled engine. The engine researched for this article is an Weichai Diesel Engine WP5. The basic map of fuel injection timing for each load mode will help the engine to work efficiently, minimize fuel consumption and emissions exhaust to environment. From the basic map, the maker can do a detail calibration for a particular engine to optimize the engine's performance.

Keywords: Diesel engine; Electronic Control Unit (ECU); map; injection timing; fuel consumption.

Nhận ngày 10/05/2017, chỉnh sửa ngày 7/6/2017, chấp nhận đăng 23/6/2017

Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Trên thực tế, đối với động cơ diesel người ta luôn muốn đạt được mục tiêu: suất tiêu hao nhiên liệu thấp nhất và khí thải độc hại thấp nhất (NO_x , SO_x , muội, HC, bụi rắn PM) trong quá trình vận hành động cơ [1,2]. Bên cạnh đó, đối với động cơ diesel, các yếu tố tác động đến hai mục tiêu này bao gồm hàng loạt các yếu tố kỹ thuật, cũng như các yếu tố khai thác [3].

Đối với các yếu tố kỹ thuật, có thể bao gồm những thông số kỹ thuật của động cơ được thiết kế trước như: vận tốc, loại nhiên liệu, góc phun sớm, áp suất nhiên liệu (áp suất rail), áp suất không khí nạp... Còn các yếu tố khai thác có thể bao gồm: chế độ khai thác công suất, chế độ khai thác vòng quay, nhiệt độ nước mát, nhiệt độ không khí nạp [3]. Tất cả những yếu tố kỹ thuật và khai thác như nêu ở trên đều ảnh hưởng đến tính kinh tế và tính môi trường của động cơ, mà cụ thể đó chính là suất tiêu hao nhiên liệu và khí thải độc hại của động cơ. Trên thực tế, theo yêu cầu về bảo vệ môi trường và tiết kiệm nhiên liệu, các nhà sản xuất hướng tới một động cơ diesel với suất tiêu hao nhiên liệu thấp nhất và khí thải độc hại xả ra môi trường ít nhất. Thông thường, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ được đánh giá bằng đơn vị g/kW.h và khí thải độc hại bao gồm NO_x , SO_x , HC, muội và chất cặn rắn (PM).

Vậy câu hỏi được đặt ra: làm thế nào để giảm thiểu được suất tiêu hao nhiên liệu và khí thải độc hại đối với động cơ diesel? Trên thực tế, các hãng sản xuất động cơ, cũng như các nhà khoa học đã đưa ra rất nhiều giải pháp, nhưng nổi bật hơn cả chính là thay thế hệ thống cấp nhiên liệu cơ học bằng hệ thống cấp nhiên liệu điện tử hay còn gọi là hệ thống cấp nhiên liệu với common rail và bộ điều khiển điện tử ECU [4]. Nhưng để tạo ra được bộ điều khiển điện tử ECU điều khiển tối ưu các thông số kỹ thuật và khai thác với mong muốn đạt được hàm mục tiêu là chi phí nhiên liệu và xả khí thải độc hại thấp, bài toán cần phải đề cập chính là quá trình tối ưu hóa các thông số kỹ thuật và khai thác của động cơ diesel.

¹PGS.TSKH, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

²TS, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

³ThS, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

*Tác giả chính. E-mail: dvuy@hn.vnn.vn.

Để có thể điều khiển điện tử một cách tối ưu các thông số động cơ, bước đầu tiên cần nghiên cứu là cần phải lập ra được bộ dữ liệu (map) chuẩn, rồi nạp bộ dữ liệu này vào ECU để từ đó chạy thử và hiệu chuẩn chi tiết để tạo ra được bộ dữ liệu chi tiết đối với từng chế độ làm việc của động cơ sao cho đảm bảo được cả hai tiêu chí, hiệu suất và môi trường.



2. Cơ sở lý thuyết về thời gian cấp nhiên liệu

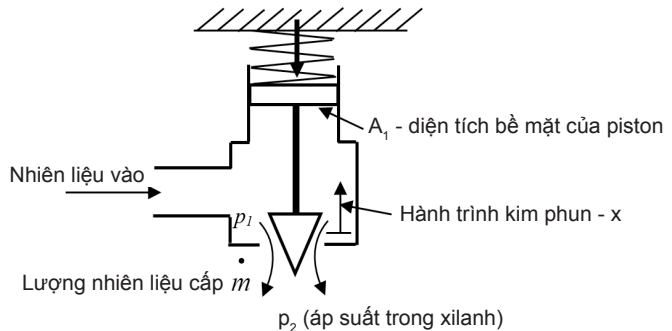
Đối với động cơ diesel bất kì, lượng nhiên liệu cấp vào động cơ sẽ được biểu thị bằng phương trình sau [5]:

$$\dot{m}_{nl} = f(n, N_t) \quad (1)$$

trong đó: $\dot{m}_{nl}$ là lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình [g/ct]; n là vòng quay của động cơ; N_t là phụ tải.

Qua phương trình này cho thấy, nếu tải không đổi $N_t = \text{const}$, thì khi muốn tăng vòng quay của động cơ phải cấp một lượng nhiên liệu nhiều hơn và nếu muốn duy trì vòng quay không đổi $n = \text{const}$, cho dù tải thay đổi, nhất thiết phải thay đổi lượng cấp nhiên liệu cho động cơ. Còn trường hợp muốn thay đổi cả vòng quay và tải, thì lượng nhiên liệu cũng sẽ được thay đổi một cách thích hợp [6].

Thiết bị cấp nhiên liệu vào động cơ chính là vòi phun và lượng nhiên liệu được cấp vào vòi phun sẽ phụ thuộc vào độ mở của kim phun hay nói cách khác đó là thời gian vòi phun được mở có thể tính bằng [ms] hoặc độ góc quay trục khuỷu [°gqtk].



Hình 1. Nguyên lý cấu tạo của vòi phun

Công thức cơ bản để biểu thị lượng nhiên liệu cấp vào động cơ qua vòi phun được thể hiện như sau (Hình 1) [4]:

$$\dot{m} = 10^3 A_{vp}(x) C_p(x, \dot{m}) \sqrt{2(p_1 - p_2) \rho(T)} \quad (2)$$

trong đó: $\dot{m}$ là lưu lượng khối lượng nhiên liệu cấp [mg/s]; A_{vp} là tổng diện tích thiết diện các lỗ phun [mm²]; C_p là hệ số phun nhiên liệu của vòi phun; p_1 là áp suất nhiên liệu ngay trên lỗ phun [kPa]; p_2 là áp suất bên trong xilanh động cơ [kPa]; ρ là khối lượng riêng của nhiên liệu [mg/mm³]; x là hành trình mở của kim phun [mm]; T là nhiệt độ của nhiên liệu [°C].

Đối với vòi phun bất kì, tổng diện tích thiết diện các lỗ phun A_{vp} là hàm số của hành trình mở kim phun (x), còn hệ số phun nhiên liệu của vòi phun C_p là hàm của hành trình mở kim phun và lưu lượng phun, còn lại ρ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nhiên liệu. Tuy nhiên, thực tế nghiên cứu cho thấy, sự ảnh hưởng của nhiệt độ nhiên liệu đến lưu lượng cấp nhiên liệu là không lớn, đặc biệt ở chế độ làm việc với áp suất cao [6]. Vậy nên, sự chuyển động của kim phun có thể được xác định theo công thức sau:

$$p_1 A_1 - (p_1 - p_2) A_{vp}(x) = 10^{-3} M \ddot{x} + 10^3 k_f \dot{x} + 10^3 (k_{lx} x + f_0) \quad (3)$$

trong đó: M là tổng khối lượng của kim phun, thanh nối và một phần lò xo [gm]; k_f là hệ số ma sát tuyến tính [N-s/mm]; k_{lx} là hệ số vi phân tuyến tính của lò xo đối với sự chuyển dịch nhỏ [N/mm]; f_0 là lực mở kim phun [N]; A_1 là diện tích mặt trên của piston van [mm²]; x là độ chuyển dịch của kim phun, $x > 0$ [mm]; $\dot{x}$ là vận tốc chuyển động của kim phun [mm/s]; $\ddot{x}$ là gia tốc của kim phun [mm/s²].

Trên cơ sở công thức (3) có thể tìm ra được công thức xác định lượng nhiên liệu tức thời cấp vào động cơ diesel:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 10^3 A_{n0}(x) C_p(x) \{2[p_1(x) - p_2(T)]\}^{1/2} \\ \dot{m} &= \left\{ 10^3 A_{n0}(x) C_p(x) [2p_1(x) - p_2 \rho(T_0)]^{1/2} \right\} \left\{ \frac{\rho(T)}{\rho(T_0)} \right\}^{1/2} = f_1(x) f_2(T) \end{aligned} \quad (4)$$

T_0 là nhiệt độ nhiên liệu mà tại đó f_1 được đo.

Tổng lượng nhiên liệu được vòi phun cấp vào động cơ sẽ được xác định thông qua lấy tích phân của lượng nhiên liệu cấp tức thời ($\dot{m}$) và được tính theo công thức:

$$m = \int_0^t \dot{m} dt = \int_0^t f_1(x) f_2(T) dt = f_2(T) \int_0^t f_1(x) dt \quad (5)$$

Đối với vòi phun nhiên liệu điện tử, việc cấp nhiên liệu sẽ được tính theo thời gian kim phun mở do các yếu tố khác có thể coi là cố định như: áp suất phun, tốc độ nâng kim phun không phụ thuộc vào vận tốc của động cơ [7]. Vậy, dựa vào các cơ sở lý luận ở trên, có thể biểu thị lượng nhiên liệu cấp vào động cơ bởi vòi phun điện tử như sau:

$$\dot{m}_{nl} = f(t) \quad (6)$$

Tất nhiên, thời gian mở của kim phun sẽ phụ thuộc vào loại động cơ (tăng áp và không tăng áp), động cơ thuộc loại 4 kì hay 2 kì, phụ thuộc vào loại nhiên liệu và tải của động cơ.



3. Nghiên cứu xây dựng map điều khiển quá trình cấp nhiên liệu cho động cơ WP5

3.1 Xây dựng map dữ liệu lượng nhiên liệu cấp trong một chu trình cho động cơ

Để thực hiện được việc xây dựng bộ dữ liệu này, trước hết một số các thông số ban đầu cần được chuẩn hóa như sau: Nhiên liệu được chọn ở đây là loại nhiên liệu diesel tiêu chuẩn với nhiệt trị thấp là $42,7 \cdot 10^3$ [kJ/kg]; Dung tích của động cơ WP5 là 4,76 lít (dm³);

Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ Weichai WP5 được thể hiện tại Bảng 1:

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ Weichai WP5

TT	Thông số kỹ thuật	Số lượng, kích thước
1	Model	WP5.180
2	Số xi lanh	04
3	Đường kính xi lanh	108 mm
4	Hành trình piston	130mm
5	Thể tích xi lanh	4,76 lít; dm ³
6	Vòng quay lớn nhất	2300 v/p
7	Công suất	180 HP

Hiệu suất chung của động cơ được định với các giá trị như trên Bảng 2:

Bảng 2. Định chuẩn giá trị hiệu suất chung η_e theo vận tốc

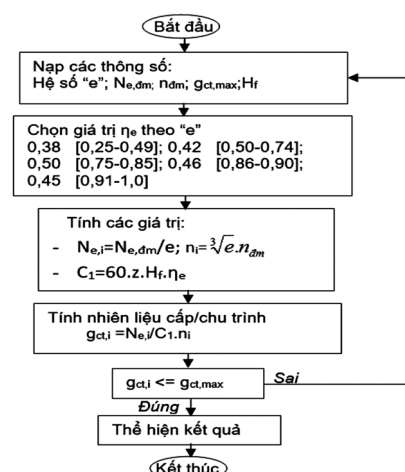
	Chế độ vòng quay [%]				
	25-49 %	50-74 %	75-85 %	86-90 %	91-100 %
Hệ số tốc độ e	0.25-0.49	0.50-0.74	0.75-0.85	0.86-0.90	0.91-1.0
Hiệu suất η_e	0,38	0,42	0,50	0,46	0,43

Mô hình toán lập map điều khiển cấp nhiên liệu cho chu trình đối với động cơ diesel nói chung và đối với động cơ diesel WP5 nói riêng là theo công thức sau:

$$N_e = C_1 \cdot g_{ct} \cdot n \quad \text{với} \quad C_1 = 60 \cdot z \cdot H_f \cdot \eta_e / 3600 \quad (7)$$

Ta có $N_{e,i}$ là giá trị công suất ở chế độ khai thác bất kì; $N_{e,dm}$ là công suất định mức. Vậy để xây dựng map điều khiển lượng nhiên liệu cấp cho chu trình của động cơ trên nền đặc tính tốc độ $N_e = f(n)$, ta cần xây dựng thuật toán tính như Hình 2.

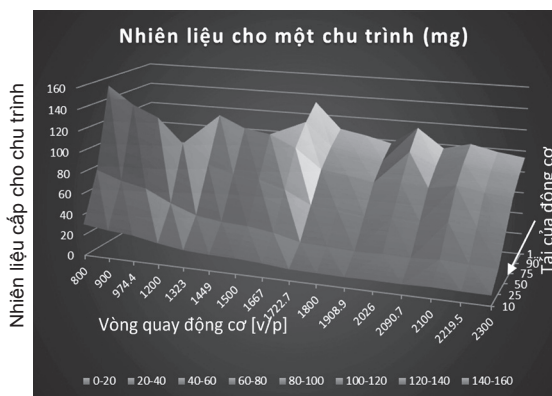
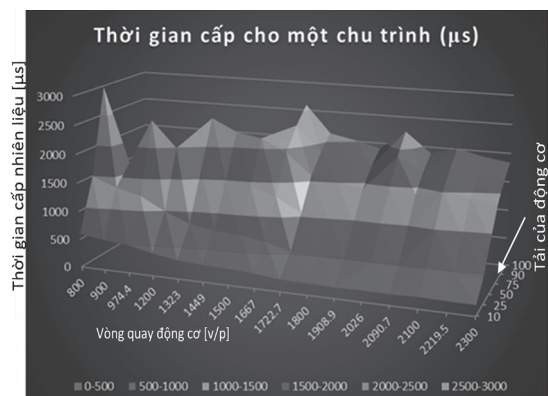
Trên cơ sở các thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ WP5, với thuật toán tính toán trên Hình 2 và các mô hình toán thực nghiệm, tác giả đã tính toán được các giá trị cấp nhiên liệu cho một chu trình của động cơ như được thể hiện trên Bảng 3 và map điều khiển động cơ theo lượng cấp nhiên liệu cho chu trình Hình 3.



Hình 2. Thuật toán tính tiêu thụ nhiên liệu cho chu trình

Bảng 3. Bộ dữ liệu lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình

n_i (v/p)	Chế độ tải [%]					
	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	100 %
	13,2 kW	33 kW	66 kW	99 kW	118 kW	132 kW
800	30,50 mg	76,27 mg	152,50 mg			
900	27,12 mg	67,80 mg	135,60 mg			
974,4	25,05 mg	62,62 mg	125,20 mg			
1200	20,34 mg	50,85 mg	101,70 mg			
1323	16,69 mg	41,72 mg	83,45 mg	125,17 mg		
1449	15,23 mg	38,09 mg	76,19 mg	114,29 mg		
1500	14,72 mg	36,80 mg	73,60 mg	110,40 mg		
1667	13,24 mg	33,10 mg	66,22 mg	99,34 mg	118,41 mg	132,45 mg
1722,7	10,75 mg	26,88 mg	53,76 mg	80,65 mg	96,12 mg	107,53 mg
1800	10,30 mg	25,76 mg	51,52 mg	77,29 mg	92,12 mg	103,05 mg
1908,9	9,71 mg	24,29 mg	48,58 mg	72,88 mg	86,86 mg	97,17 mg
2026	9,95 mg	24,87 mg	49,75 mg	74,63 mg	97,43 mg	114,40 mg
2090,7	9,64 mg	24,10 mg	48,21 mg	72,32 mg	86,20 mg	96,43 mg
2100	10,27 mg	25,67 mg	51,35 mg	77,03 mg	91,81 mg	102,70 mg
2219,5	9,71 mg	24,29 mg	48,58 mg	72,88 mg	86,87 mg	97,17 mg
2300	9,37 mg	23,44 mg	46,88 mg	70,33 mg	83,83 mg	93,77 mg

**Hình 3.** Map điều khiển theo lượng cấp nhiên liệu cho chu trình**Hình 4.** Map điều khiển động cơ theo thời gian cấp nhiên liệu**3.2 Xây dựng map dữ liệu thời gian cấp nhiên liệu theo một chu trình cho động cơ WP5**

Để có thể định lượng được lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình đối với động cơ diesel, bộ điều khiển điện tử ECU sẽ điều khiển van điện từ của vòi phun và mở van vòi phun thực hiện cấp nhiên liệu vào buồng đốt động cơ. Thời gian mở van như được nêu tại phần 2. Ở đây, dựa trên kết quả lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình đối với động cơ WP5 ở các chế độ khai thác khác nhau, có thể xây dựng được bảng về bộ dữ liệu thời gian cấp nhiên liệu cho một chu trình như tại Bảng 4.

Bảng trực quan 4 và Hình 4 cho thấy toàn bộ map điều khiển động cơ được hình thành theo thời gian cấp nhiên liệu cho một chu trình. Đặc biệt trên Hình 4 đây là đồ thị 3D biểu thị giữa thời gian cấp nhiên liệu, vận tốc động cơ và tải động cơ.

Bảng 4. Thời gian cấp nhiên liệu cho chu trình

n_i (v/p)	Chế độ tải [%]					
	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	100 %
	13,2 kW	33 kW	66 kW	99 kW	118 kW	132 kW
800	598 μ s	1496 μ s	2990 μ s			
900	532 μ s	1329 μ s	1659 μ s			
974,4	491 μ s	1228 μ s	2455 μ s			
1200	399 μ s	997 μ s	1994 μ s			
1323	327 μ s	818 μ s	1636 μ s	2454 μ s		
1449	299 μ s	747 μ s	1494 μ s	2240 μ s		
1500	287 μ s	722 μ s	1443 μ s	2164 μ s		
1667	260 μ s	649 μ s	1298 μ s	1948 μ s	2321 μ s	2597 μ s
1722,7	211 μ s	527 μ s	1054 μ s	1581 μ s	1885 μ s	2108 μ s
1800	202 μ s	505 μ s	1010 μ s	1515 μ s	1806 μ s	2020 μ s
1908,9	190 μ s	476 μ s	953 μ s	1429 μ s	1703 μ s	1905 μ s
2026	195 μ s	488 μ s	975 μ s	1463 μ s	1910 μ s	2243 μ s
2090,7	189 μ s	473 μ s	945 μ s	1418 μ s	1690 μ s	1890 μ s
2100	201 μ s	503 μ s	1007 μ s	1510 μ s	1800 μ s	2013 μ s
2219,5	190 μ s	476 μ s	953 μ s	1429 μ s	1703 μ s	1905 μ s
2300	184 μ s	450 μ s	919 μ s	1379 μ s	1643 μ s	1839 μ s



4. Kết luận

Xây dựng bộ dữ liệu chuẩn về thời gian cấp nhiên liệu theo các chế độ vòng quay và tải khác nhau là bước đầu tiên và rất cần thiết khi lập trình điều khiển quá trình cấp nhiên liệu cho động cơ Diesel cấp nhiên liệu điện tử.

Bài báo đã nêu ra phương pháp nghiên cứu lý thuyết để xác định lượng nhiên liệu cấp và xây dựng map điều khiển thời gian cấp nhiên liệu trong 1 chu trình. Thao tác này được coi là bước định chuẩn cơ bản cho động cơ về thời gian phun nhiên liệu. Từ map điều khiển thời gian cấp nhiên liệu cơ bản này sẽ làm cơ sở để thực hiện bước định chuẩn chi tiết cho động cơ sao cho tối ưu được các thông số làm việc và đạt được hiệu suất cao nhất và thông số môi trường trong giới hạn cho phép.

Tài liệu tham khảo

- Challen B., Baranescu R. (1999), *Diesel Engine Reference Book*, Butterworth-Heinemann, London.
- Barrass C.B. (2004), *Ship Design and Performance for Masters and Mates*, Elsevier-Butterworth-Heinemann, London.
- Kuiken K. (2008), *Diesel Engines for Ship Propulsion and Power Plants I,II*, Target Global Energy Training, ONNEN, The Netherland.
- Mollenhauer K., Tschoke H. (2010), *Handbook of Diesel Engines*, Springer, Berlin.
- Heywood J.B. (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company;
- Đặng Văn Uy, cs. (2013), *Nghiên cứu giải pháp công nghệ và chế tạo thử nghiệm hệ thống thiết bị chuyển đổi động cơ diesel tàu thủy cỡ vừa và nhỏ sang sử dụng hỗn hợp dầu thực vật-dầu diesel*, Báo cáo tổng hợp đề tài cấp Nhà nước, mã số: ĐT.04.11/NLSH, Hải Phòng.
- Đặng Văn Uy, cs. (2014), *Hoàn thiện công nghệ chế tạo các hệ thống tự động điều khiển và giám sát động cơ diesel trong tự động hóa toàn phần buồng máy tàu thủy*, Mã số: KC.03.DA.11/11-15, Hải Phòng.