

XÁC ĐỊNH QUY LUẬT THAY ĐỔI TỐC ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL DÙNG HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU KIỂU COMMONRAIL BẰNG THỰC NGHIỆM

EXPERIMENTAL STUDY THAT DETERMINE THE LAW OF IDLE SPEED VARIATION OF DIESEL ENGINE USING COMMONRAIL FUEL INJECTION

Nguyễn Hoàng Vũ^{1,*}, Trần Trọng Tuấn²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.052>

TÓM TẮT

Tốc độ không tải (n_{idle}) của động cơ diesel dùng hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) điều khiển điện tử thay đổi trong phạm vi rộng và phụ thuộc vào nhiều tham số vận hành của động cơ và xe, ví dụ như: nhiệt độ nước làm mát, điện áp ắc quy, vị trí tay số, việc sử dụng điều hòa không khí hay sấy nóng ca-bin xe... Hiện nay, quy luật thay đổi tốc độ không tải của động cơ diesel phun nhiên liệu điện tử thường không được các hãng sản xuất công khai. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định quy luật thay đổi tốc độ không tải của động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A theo một số tham số vận hành có tác động chính. Kết quả của bài báo có thể sử dụng để hoàn thiện mô hình mô phỏng chu trình công tác (CTCT) và xây dựng các chương trình điều khiển cho ECU của động cơ diesel dùng HTPNL điều khiển điện tử kiểu CommonRail (CR).

Từ khóa: Tốc độ không tải, động cơ diesel, hệ thống phun nhiên liệu kiểu Commonrail.

ABSTRACT

The idle speed (n_{idle}) is a critical parameter that impacts engine performance, fuel efficiency, and emissions. The electronically controlled fuel injection system (EFI) engine's idle speed varies widely and depends on several different operating parameters of the engine and vehicle, including coolant temperature, battery voltage, transmission gear position, use of air conditioning or cabin heater, among others. Currently, manufacturers generally do not disclose the idle speed control law for electronic fuel-injected diesel engines. This article presents the results of an experimental study that determine the law of idle speed variation of the Hyundai 2.5TCI-A diesel engine according to some key operating parameters. The article's results can be utilized to refine the working cycle simulation model and develop control programs for the engine control module (ECM) of Common Rail (CR) diesel engine.

Keywords: Idle speed, diesel engine, Commonrail fuel injection.

¹Trường Đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: vunguyenhoang@lqtdtu.edu.vn

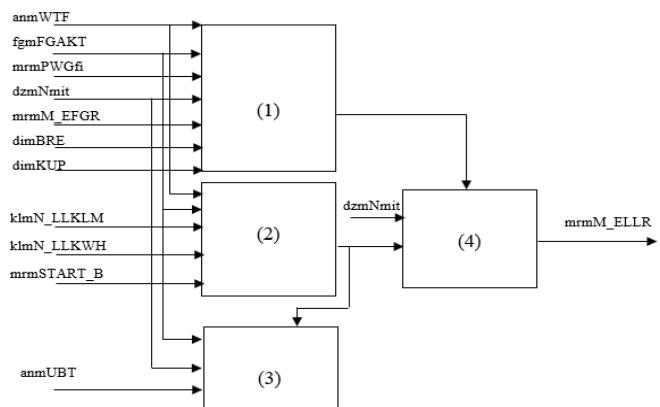
Ngày nhận bài: 10/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tốc độ không tải là một thông số vận hành quan trọng của động cơ, nó có ảnh hưởng trực tiếp đến mức tiêu hao nhiên liệu và phát thải ô nhiễm của động cơ, phương tiện. Điều khiển tốc độ không tải phù hợp với chế độ vận hành là yêu cầu quan trọng trong việc lập trình chương trình điều khiển ECU của động cơ diesel. Trên các động cơ diesel dùng HTPNL điều khiển điện tử, tốc độ không tải (n , vg/ph) của động cơ (n_{idle}) thay đổi trong một dải khá rộng và nó được thiết lập phụ thuộc vào nhiều tham số khác nhau như: nhiệt độ nước làm mát, điện áp của ắc quy, vị trí tay số truyền, tín hiệu bật/tắt điều hòa không khí, tốc độ chuyển động của xe (v , km/h).



Hình 1. Sơ đồ khối xác định n_{idle} nhỏ nhất [8]

(1) Parameter set selection; (2) Low-idle setpoint speed calculation; (3) Battery voltage-dependent low-idle speed increase; (4) Low-idle governor; anmWTF: Nhiệt độ nước làm mát; fgmFGAKT: Tốc độ thực tế của xe; mrmPWGfi: Cảm biến vị trí ga sau lọc; dzmNmit: Tốc độ động cơ trung bình; mrmM_EFGR: Lượng nhiên liệu cần thiết theo yêu cầu điều khiển tốc độ xe; dimBRE: Tín hiệu phanh; dimKUP: Tín hiệu đóng/ngắt ly hợp; klmN_LLKLM: Tốc độ không tải nhỏ nhất khi bật điều hòa không khí; klmN_LLKWH: Điểm đặt tốc độ không tải nhỏ nhất khi có sấy nóng cabin; mrmSTART_B: Tín hiệu khởi động động cơ; anmUBT: Điện áp của ắc quy

Trên hình 1 [8] thể hiện sơ đồ khối đơn giản điều khiển n_{idle} của động cơ diesel dùng HTPNL điều khiển điện tử. Phần

tử điều khiển PI được sử dụng để kiểm soát n_{idle} nhỏ nhất. Giá trị của n_{idle} phụ thuộc vào chế độ vận hành. Khối (1) sẽ thu thập các tín hiệu từ các cảm biến của động cơ và xe nhằm xác định chế độ vận hành và phục vụ việc tính toán n_{idle} tải cần thiết. Các thông số chính được lựa chọn để thiết lập giá trị n_{idle} tải nhỏ nhất (Low-Idle Governor LLR) gồm: nhiệt độ nước làm mát (anmWTF), vị trí tay số hiện tại, tín hiệu khởi động động cơ, vị trí chân ga, tốc độ động cơ, tín hiệu đóng/ngắt ly hợp... Ngoài ra, các thông tin đánh giá về việc xe chuyển động (tốc độ xe, tỷ số giữa tốc độ xe/tốc độ động cơ (v/n)) cũng đều được xem xét [8].

Khối (2) sẽ tính toán "điểm đặt" của n_{idle} nhỏ nhất (mrmN_LLBAS), được chuyển đổi giữa các giá trị mặc định khác nhau (quy luật và giá trị hiệu chỉnh phụ thuộc vào chế độ vận hành của phương tiện) [8]. Các giá trị mặc định, quy luật thay đổi thể hiện sự phụ thuộc giữa n_{idle} vào điều kiện vận hành khác nhau (nhiệt độ nước làm mát, điện áp ắc quy, vị trí tay số...) được xây dựng bằng thực nghiệm và nhập vào mô hình điều khiển dưới dạng bảng hoặc đồ thị. Giá trị của mrmN_LLBAS sẽ phụ thuộc vào những yếu tố chính như: nhiệt độ nước làm mát, vận tốc của xe, v/n, tín hiệu bật/tắt điều hòa không khí... Khối (3) có nhiệm vụ hiệu chỉnh n_{idle} theo giá trị điện áp ắc quy mà ECU thu nhận được. Nếu điện áp giảm xuống dưới ngưỡng nào đó sau một thời gian nhất định thì khối (3) sẽ tính toán giá trị bù để tăng n_{idle} nhằm phục vụ cho quá trình nạp của ắc quy.

Với sơ đồ khối xác định n_{idle} nhỏ nhất như hình 1, tải của động cơ (mô men xoắn có ích) và tải trọng chuyên chở của xe, điều kiện tự nhiên của môi trường vận hành (gió, độ ẩm, điều kiện đường) không tác động trực tiếp đến việc xác định n_{idle} nhỏ nhất mà thể hiện gián tiếp thông qua nhiệt độ nước làm mát (chế độ nhiệt) của động cơ.

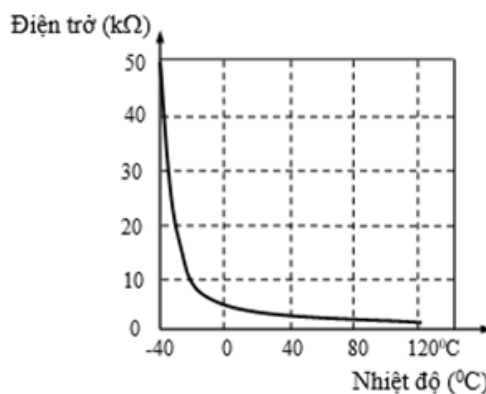
Hiện nay, quy luật thay đổi n_{idle} đối với động cơ diesel phun nhiên liệu điện tử thường không được các nhà sản xuất công khai. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định quy luật thay đổi n_{idle} của động cơ diesel Hyundai 2.5 TCI-A theo một số tham số vận hành có tác động chính. Kết quả của bài báo có thể được sử dụng để hoàn thiện mô hình mô phỏng CTCT và xây dựng chương trình điều khiển ECU của động cơ diesel dùng HTPNL kiểu CR.

2. ĐỐI TƯỢNG, TRANG THIẾT BỊ VÀ CHẾ ĐỘ THỬ NGHIỆM

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel 2.5 TCI-A (4 kỳ, 4 xi lanh, 1 hàng; tỷ số nén 17,6; dùng HTPNL kiểu CR với áp suất phun lớn nhất là 1600 bar; dùng hệ thống tăng áp tua-bin khí thải kiểu VGT có làm mát khí tăng áp; tuần hoàn khí thải EGR kiểu áp suất cao có làm mát khí EGR; tiêu chuẩn khí thải Euro 3) lắp trên xe Hyundai Starex, dùng hệ thống truyền lực kiểu cơ khí (5 số tiến).

Để giả lập tín hiệu nhiệt độ nước làm mát của động cơ, đã sử dụng một biến trở nhằm thay đổi mức điện trở của tín hiệu gửi về ECU theo đúng đường đặc tính của cảm biến nhiệt độ nước làm mát (hình 2). Kết hợp giữa bộ biến trở và thiết bị ELM-327 sẽ có thể điều chỉnh được tín hiệu nhiệt độ nước làm mát gửi về ECU theo yêu cầu thử nghiệm. Quá trình nghiên cứu thực nghiệm sử dụng thiết bị chẩn đoán ELM-

327 (OBD II) [6] được kết nối trực tiếp với ECU của động cơ 2.5TCI-A. ELM-327 cho phép hiển thị trực tiếp, lưu trữ dữ liệu (dạng số) của đồng thời 04 cảm biến trên động cơ và xe.



Hình 2. Đặc tính của cảm biến nhiệt độ nước làm mát [1]

- 1- đầu nối; 2- thân cảm biến; 3- đệm làm kín; 4- mối ghép ren; 5- điện trở đo; 6- nước làm mát

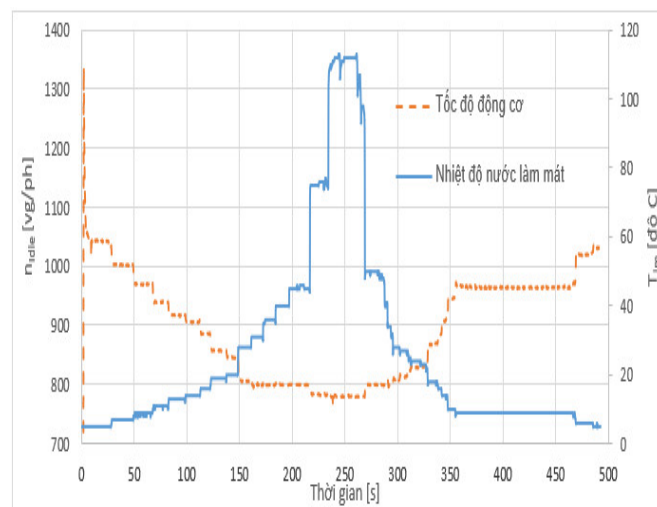
Xe Hyundai Starex được thử nghiệm ở các trường hợp sau: (1) xe dừng/đỗ tại chỗ với động cơ vận hành ở chế độ không tải khi thay đổi nhiệt độ nước làm mát, điện áp của ắc quy, đóng/ngắt ly hợp; (2) xe vận hành trên đường cao tốc và giám sát sự thay đổi của n_{idle} theo số truyền (tải của xe và điều kiện tự nhiên của môi trường vận hành sẽ tác động đến nhiệt độ nước làm mát).

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

3.1. Quy luật thay đổi n_{idle} theo nhiệt độ nước làm mát

Kết quả xác định sự thay đổi n_{idle} theo nhiệt độ nước làm mát (T_{lm}) được thể hiện trên hình 3. Ta thấy:

- Khi tăng T_{lm} thì n_{idle} có xu hướng giảm. Khi T_{lm} lớn hơn 75°C, n_{idle} đạt giá trị nhỏ nhất (n_{idle} thấp) và giữ ổn định ở khoảng 780 (vg/ph).
- Tại một giá trị xác định của T_{lm} thì n_{idle} luôn được giữ ở một giá trị nhất định.
- Khi T_{lm} thấp (khoảng 5°C) thì giá trị n_{idle} lớn nhất (n_{idle} cao) của động cơ có thể đạt giá trị 1050vg/ph.



Hình 3. Quy luật thay đổi n_{idle} theo nhiệt độ nước làm mát

3.2. Quy luật thay đổi n_{idle} khi xe di chuyển ở các tay số khác nhau

Để thu thập giá trị n_{idle} ứng với các tay số khác nhau, xe Hyundai Starex được vận hành trên đường cao tốc (khi T_{lm} lớn hơn $75^{\circ}C$), người lái không tác động vào chân ga, thay đổi các tay số khác nhau và thu thập các thông số: tốc độ xe, tốc độ động cơ, nhiệt độ nước làm mát. Kết quả thử nghiệm được trình bày trong bảng 1. Ta thấy: giá trị n_{idle} khi xe di chuyển ở các số truyền khác nhau gần như không thay đổi (vào khoảng 900vg/ph), nhưng cao hơn đáng kể so với giá trị n_{idle} thấp (khoảng 780vg/ph khi $T_{lm} \approx 75^{\circ}C$).

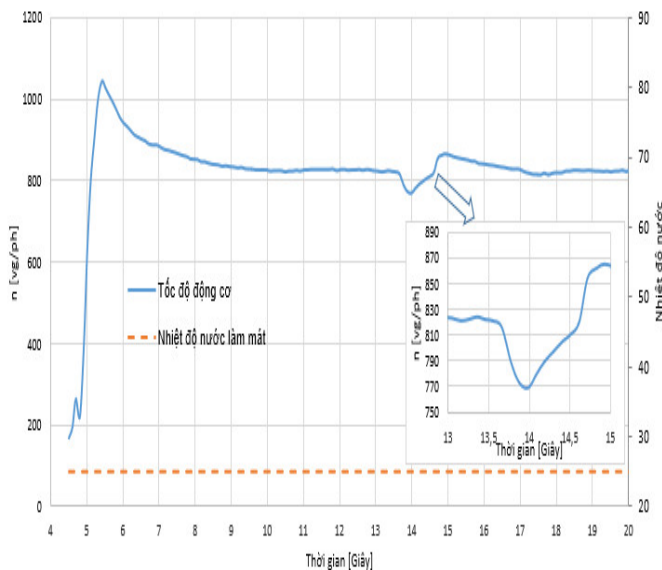
Bảng 1. Kết quả xác định tốc độ không tải khi xe di chuyển ở các tay số khác nhau

Số truyền	Tốc độ động cơ, n, [vg/ph]	Nhiệt độ nước, T_{lm} , [$^{\circ}C$]	Vận tốc xe, v, [km/h]	Giá trị v/n
1	900,13	78,00	7,00	0,0077
2	900,28	78,24	13,23	0,0147
3	899,15	79,78	23,01	0,0256
4	903,06	80,73	31,56	0,0350
5	905,66	81,00	41,59	0,0459

3.3. Thay đổi n_{idle} khi khởi động nguội và đóng/ngắt ly hợp

Kết quả đo diễn biến n_{idle} trong 17 giây trong quá trình khởi động nguội nguội (với $T_{lm} = 25^{\circ}C$) và khi đóng hoặc ngắt ly hợp được trình bày trên hình 4. Ta thấy: n_{idle} lớn nhất sau khi khởi động nguội là 1043vg/ph (cao hơn so với n_{idle} khi $T_{lm} = 25^{\circ}C$ ở chế độ n_{idle} thấp) do khi khởi động nguội, ECU sẽ điều khiển tăng lượng nhiên liệu phun, sau đó giảm dần khi T_{lm} tăng lên đến giá trị nhiệt độ nước làm mát làm việc thường.

Khi đóng/ngắt ly hợp tốc độ động cơ được điều chỉnh tăng lên (giá trị tăng khoảng 40vg/ph) nhằm thực hiện chức năng hỗ trợ khởi hành và chuyển số cho người lái, sau đó n_{idle} trở về giá trị ổn định thông thường.

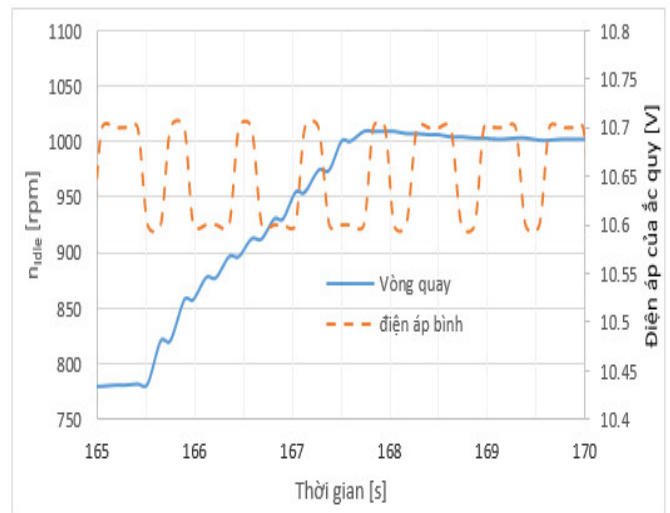


Hình 4. Diễn biến n_{idle} khi khởi động nguội và khi đóng - ngắt ly hợp

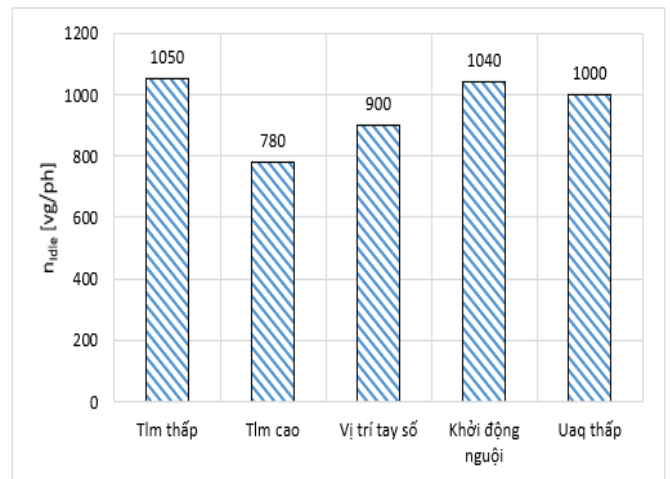
3.4. Thay đổi n_{idle} theo điện áp của ắc quy

Kết quả xác định ảnh hưởng của điện áp ắc quy (U_{AQ}) đến n_{idle} được trình bày trên hình 5. Ta thấy: khi điện áp dưới mức 10,65V, hệ thống điều khiển của động cơ sẽ tự động tăng n_{idle} từ 780 lên 1000 (vg/ph) với thời gian điều chỉnh tăng là 4,5 giây. Khi điện áp tụt xuống dưới 6V, hệ thống điều khiển động cơ sẽ tự động tắt động cơ.

Kết quả tổng hợp sự thay đổi của n_{idle} theo các điều kiện vận hành khác nhau được trình bày trong hình 6. Có thể thấy n_{idle} phụ thuộc vào nhiều thông số nhưng T_{lm} có mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến n_{idle} (giá trị n_{idle} thay đổi khoảng 270vg/ph), sau đó đến điện áp của ắc quy (giá trị n_{idle} thay đổi khoảng 220vg/ph).



Hình 5. Sự thay đổi của n_{idle} theo điện áp của ắc quy



Hình 6. Tổng hợp sự thay đổi của n_{idle} theo một số điều kiện vận hành của động cơ

4. KẾT LUẬN

Đã xác định được quy luật thay đổi của tốc độ không tải của động cơ theo các điều kiện vận hành khác nhau với độ tin cậy, độ chính xác chấp nhận được. Kết quả thực nghiệm thu được có thể sử dụng để hoàn thiện mô hình và tham số điều khiển tốc độ không tải phù hợp với các chế độ vận hành, hoàn thiện mô hình mô phỏng CTCT của

động cơ diesel, mô hình mô phỏng động lực học của xe trong các phần mềm mô phỏng chuyên dụng. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng cung cấp thông tin, dữ liệu cần thiết cho việc lập trình chương trình điều khiển cho ECU của động cơ diesel.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Hoang Vu, et al., *Research and test manufacturing of ECU suitable for using biodiesel fuel with different blending levels*. Final Report, Development of biofuels up to 2015 with a vision to 2025, Code ĐT.08.14/NLSH, Hanoi, 2018.
- [2]. Nguyen Hoang Vu, *Thu nghiệm dong co dot trong*. People's Army Publishing House, Hanoi, 2010.
- [3]. Ha Quang Minh, Nguyen Hoang Vu, *Phun nhien lieu dieu khien dien tu tren dong co dot trong*. People's Army Publishing House, Hanoi, 2010.
- [4]. Tran Trong Tuan, Pham Trung Kien, Phung Van Duoc, Duong Quang Minh, Nguyen Gia Nghia, Vu Thanh Trung, Nguyen Hoang Vu, Khong Van Nguyen, Tran Anh Trung, "Experimental determinatinon of performance parameters and emission concentrations for 2.5 TCI-A hyundai diesel engine," in *6th National Scientific Conference on Mechanical Engineering*, Hanoi, 2015.
- [5]. Phung Van Duoc, Tran Trong Tuan, Pham Trung Kien, Duong Quang Minh, Nguyen Gia Nghia, Vu Thanh Trung, Nguyen Cong Ly, Nguyen Hoang Vu, Khong Van Nguyen, Tran Anh Trung, "Investigating the effect of load and speed mode to the process of fuel injection and in-cylinder pressure of Hyundai 2.5 TCI-A diesel engine by experimental," in *6th National Scientific Conference on Mechanical Engineering*, Hanoi, 2015.
- [6]. User guide for EOBD facile (ELM-327) (2013).
- [7]. GDS software, GDS/manual/H1-BUS(TQ)/2009/D2.5TCI-A
- [8]. BOSCH, Software Documentation Y445 S00 148.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Hoang Vu¹, Tran Trong Tuan²

¹Le Quy Don Technical University, Vietnam

²University of Transport Technology, Vietnam