

# NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ KHÔNG TẢI TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL COMMON RAIL KHÍ SỬ DỤNG BIODIESEL RESEARCH IDLE SPEED CONTROL ENGINE DIESEL COMMON RAIL USING BIODIESEL

KHÔNG VĂN NGUYỄN<sup>1\*</sup>, LÊ ANH VŨ<sup>1</sup>, TRẦN ANH TRUNG<sup>2</sup>  
TRẦN VĂN THOAN<sup>1</sup>, NGUYỄN HOÀNG VŨ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật ô tô và năng lượng, Trường Đại học Phenikaa

<sup>3</sup>Phòng Thông tin khoa học, Trường Đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn

\*Email liên hệ: kvnguyen251@gmail.com

## Tóm tắt

Trong những năm gần đây, việc sử dụng nhiên liệu sinh học trên các động cơ diesel điều khiển điện tử đang được các nhà khoa học, các nhà sản xuất nhiên liệu cũng như người tiêu dùng hết sức quan tâm. Tuy nhiên, việc nghiên cứu điều khiển tốc độ không tải trên động cơ diesel dùng hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử kiểu Common Rail (CR), có ưu điểm áp suất phun lớn, điều khiển chính xác lượng, thời điểm và số lần phun thì vẫn đang còn bỏ ngỏ. Bài báo này nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển tốc độ không tải động cơ 2.5 TCI-A lắp trên xe HYUNDAI STAREX khi sử dụng biodiesel B20. Kết quả cho thấy động cơ hoạt động bình thường ở chế độ không tải, động cơ sử dụng bộ điều khiển không tải phát thải CO giảm 14,34%, phát thải HC giảm 19,2%, phát thải NOx tăng 70,54% và phát thải PM không thay đổi so với động cơ nguyên thủy với cùng loại nhiên liệu B20.

**Từ khóa:** Hệ thống nhiên liệu Common Rail, điều khiển tốc độ không tải, diesel sinh học.

## Abstract

In recent years, the use of biofuels in the Electronic Diesel Control being interested by the scientists, fuel producers as well as consumers concise and factual abstract is required. However, the research idle speed control using biodiesel on common rail diesel engine have not been researched yet. This paper research and designs the idle speed control of engine diesel 2.5TCI-A HYUNDAI STAREX use biodiesel B20. The results show that the engine is operating normally idle speed, the engine using the idling controller reduces CO by 14.34%, HC by 19.2%, NOx by 70.54 % and PM unchanged compared to the original engine with the same fuel B20.

**Keywords:** Common Rail Injection System, idle speed control, biodiesel.

## 1. Mở đầu

Điều khiển lượng phun nhiên liệu ở chế độ không tải phải chính xác để tiết kiệm nhiên liệu, tăng công suất, giảm phát thải của động cơ [1]. Khi người lái nhả chân ga, chương trình không tải làm việc. Tốc độ không tải phụ thuộc từng chế độ làm việc của động cơ: động cơ lạnh, động cơ nóng, bật điều hoà, xe chạy tự do, nhả chân côn,... [2]. Để thực hiện được việc này bộ điều khiển không tải liên tục làm việc điều khiển lượng nhiên liệu cho đến khi đáp ứng được tốc độ không tải yêu cầu. Bộ điều khiển ECU trên động cơ được chia làm hai phần là phần mạch điện tử (phần cứng) và phần chương trình điều khiển (phần mềm). Phần cứng đã được nhiều hãng chế tạo ở dạng tiêu chuẩn (hoạt động ổn định, có độ tin cậy cao) gọi là “ECU trắng” với nhiều cấu hình khác nhau tùy theo mục đích sử dụng. Phần mềm là các chương trình và thuật toán điều khiển do các hãng sản xuất động cơ thực hiện, phần mềm phải phù hợp với từng động cơ và từng loại nhiên liệu. Do đó khi sử dụng nhiên liệu biodiesel thì cần phải thiết kế lại phần mềm điều khiển để động cơ có thể làm việc với hiệu suất cao nhất [4].

Vấn đề nghiên cứu điều khiển tốc độ không tải trên động cơ diesel thế hệ mới điều khiển điện tử rất phức tạp, liên quan đến nhiều cơ cấu và hệ thống đặc biệt là hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử kiểu Common Rail, (với áp suất phun 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) [4]. Để thiết kế chương trình điều khiển tốc độ không tải tác giả lựa chọn phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển dựa trên mô hình mô phỏng trực tiếp đối tượng bằng ngôn ngữ Matlab/simulink. Do đó các bộ số liệu của hệ thống điều khiển được tạo ra khi điều khiển mô hình mô phỏng động cơ sẽ được hiệu chỉnh cho phù hợp khi điều khiển động cơ thực trên

bộ thử. Thay vì chạy động cơ trực tiếp, liên tục để thu thập các bộ số liệu điều khiển thì công việc bây giờ chỉ còn lại là hiệu chỉnh bộ thông số điều khiển, như vậy sẽ giảm thiểu được thời gian chạy động cơ thật trên bộ thử nên giảm được chi phí cũng như thời gian thực hiện. Bài báo này nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển tốc độ không tải động cơ 2.5 TCI-A lắp trên xe HYUNDAI STAREX khi sử dụng biodiesel B20. Kết quả nghiên cứu phục vụ trực tiếp cho việc lập chương trình điều khiển ECU mới dùng cho động cơ này khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu diesel sinh học [4]. Các nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành trên băng thử động cơ thuộc Trung tâm Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

**2. Tính toán lượng nhiên liệu phun không tải**

**2.1. Tính toán lượng nhiên liệu không tải yêu cầu**

Khi người lái nhả chân ga, chương trình không tải sẽ bắt đầu làm việc. Tốc độ không tải yêu cầu thay đổi tùy thuộc vào từng chế độ làm việc của động cơ. Khi động cơ nguội tốc độ không tải yêu cầu cao hơn khi động cơ nóng, hoặc tốc độ không tải tăng lên khi điện áp ắc quy yếu, bật điều hòa, xe thả trôi (nhả chân côn). Khi xe liên tục dừng - chạy (do đèn giao thông) động cơ hoạt động ở chế độ không tải, dẫn tới tổn nhiên liệu và tăng phát thải, do đó tốc độ không tải yêu cầu được giảm xuống mức thấp nhất. Khi điện áp ắc quy yếu sẽ tiêu thụ công suất lớn hơn rất nhiều khi điện áp ắc quy đủ, đồng thời công suất cho máy nén điều hòa, trợ lực tay lái, bơm cao áp,... phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ động cơ. Tất cả yếu tố trên đều ảnh hưởng tới quá trình điều khiển tốc độ không tải yêu cầu [3].

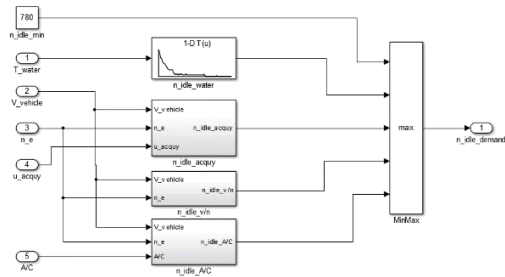
Tốc độ không tải yêu cầu phụ thuộc vào nhiều thông số: nhiệt độ động cơ, tốc độ động cơ, điện áp ắc quy và tốc độ của xe, tín hiệu bật tắt điều hòa và được xác định như sau [3].

$$n\_idle\_demand = f(T\_water, n\_e, u\_ac quy, v\_vehicle, A/C).$$

Trong đó:  $n\_idle\_demand$  là tốc độ không tải yêu cầu, (v/ph);  $n\_e$  là tốc độ động cơ, (v/ph);  $v\_vehicle$  là tốc độ xe, (km/h);  $T\_water$  là nhiệt độ nước làm mát, (°C);  $u\_ac quy$  là điện áp ắc quy, (mV);  $A/C$  là tín hiệu bật tắt điều hòa.

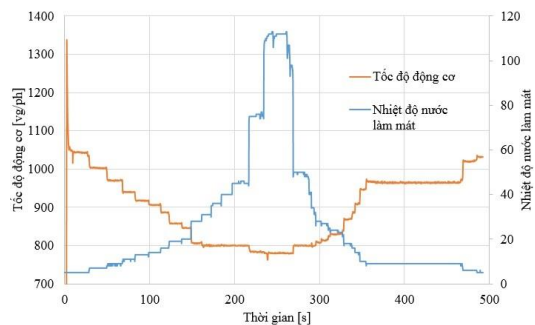
Sơ đồ tính toán lượng nhiên liệu không tải yêu cầu được trình bày trên Hình 1. Trong đó:  $n\_idle\_min$  là tốc độ không tải yêu cầu nhỏ nhất, (v/ph);  $n\_idle\_water$  là tốc độ không tải yêu cầu theo nhiệt độ nước làm mát, (v/ph);  $n\_idle\_ac quy$  là tốc độ không tải yêu cầu theo điện áp ắc quy, (v/ph);  $n\_idle\_A/C$  là tốc độ không tải yêu cầu khi bật điều hòa, (v/ph);  $n\_idle\_v/n$  là tốc độ không tải yêu cầu theo tỷ số giữa

vận tốc xe và tốc độ động cơ, (v/ph).



Hình 1. Sơ đồ tính toán lượng phun không tải

Để xác định tốc độ không tải yêu cầu, tiến hành thực nghiệm đối với động cơ lắp ECU nguyên thủy chạy với nhiên liệu diesel, đặt trên xe Hyundai Starex (bằng cách tạo giả tín hiệu của cảm biến nhiệt độ nước làm mát). Khi nhiệt độ nước làm mát nhỏ (khoảng 5°C), tốc độ không tải yêu cầu lớn nhất của động cơ đạt khoảng 1050 (v/ph); khi nhiệt độ nước làm mát lớn hơn 75°C tốc độ không tải yêu cầu của động cơ đạt giá trị nhỏ nhất và được giữ ổn định ở mức 780 (v/ph). Sự thay đổi tốc độ không tải yêu cầu của động cơ 2.5 TCI-A theo nhiệt độ nước làm mát được trình bày trên Hình 2.

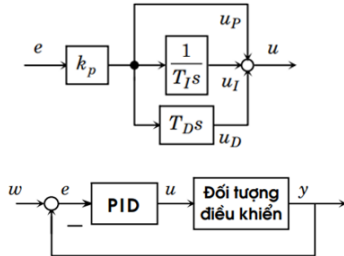


Hình 2. Diễn biến tốc độ không tải yêu cầu theo nhiệt độ của động cơ 2.5TCI-A

Tốc độ không tải yêu cầu của động cơ khi xe di chuyển ở các số khác nhau  $\approx 900$  (v/ph). Tốc độ động cơ lớn nhất sau khi khởi động là 1043 (v/ph). Khi đóng/ ngắt ly hợp, có sự dao động nhỏ về số vòng quay của động cơ (mức độ dao động là khoảng 40 (v/ph)). Khi điện áp của ắc quy ở dưới mức 10,65V thì động cơ sẽ tự động tăng vòng quay không tải từ 780 lên 1000 (v/ph). Thời gian từ lúc tăng đến khi giữ vòng quay ổn định ở 1000 (v/ph) là khoảng 4,5 giây. Điện áp nhỏ nhất của ắc quy mà động cơ có thể nổ máy được là khoảng 6V. Khi xe vào số 1 từ chế độ không tải, tốc độ không tải của động cơ tăng từ 780 (v/ph) lên 850 (v/ph).

### 2.2. Thiết kế các bộ điều khiển vòng kín

Cấu trúc bộ điều khiển PID, Hình 3 gồm 3 thành phần: Khâu khuếch đại (P), khâu tích phân (I), và khâu vi phân (D). Khi sử dụng thuật toán PID, nhất thiết phải lựa chọn chế độ làm việc P, PI hay PID và sau đó đặt các tham số cho các chế độ đã chọn [5].



Hình 3. Điều khiển với bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID có cấu trúc đơn giản dễ sử dụng nên được sử dụng rộng rãi trong điều khiển các đối tượng SISO theo nguyên lý hồi tiếp (Hình 2). Bộ PID có nhiệm vụ đưa sai lệch  $e(t)$  của hệ thống về không, sao cho quá trình quá độ thỏa mãn các yêu cầu cơ bản về chất lượng:

- Nếu sai lệch tĩnh  $e(t)$  càng lớn thì thông qua thành phần  $u_P(t)$ , tín hiệu điều chỉnh  $u(t)$  càng lớn.
- Nếu sai lệch  $e(t)$  chưa bằng không thì thông qua phần  $u_I(t)$ , PID vẫn còn tạo tín hiệu điều chỉnh.
- Nếu sự thay đổi của sai lệch  $e(t)$  càng lớn thì thông qua thành phần  $u_D(t)$ , phản ứng thích hợp của  $u(t)$  sẽ càng nhanh.

Bộ điều khiển PID được mô tả bằng mô hình vào - ra:

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{K_I} \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Trong đó:  $e(t)$  là tín hiệu đầu vào;  $u(t)$  là tín hiệu đầu ra;  $K_p$  là hệ số khuếch đại;  $K_I$  là hằng số tích phân;  $K_D$  là hằng số vi phân

Từ mô hình vào - ra trên, ta có được hàm truyền đạt của bộ PID:

$$R(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{K_I s} + K_D s \right)$$

Chất lượng của hệ thống phụ thuộc vào các tham số  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ . Muốn hệ thống có chất lượng như mong muốn thì phải phân tích đối tượng rồi trên cơ sở đó chọn các tham số cho phù hợp. Hiện nay có khá nhiều phương pháp xác định các tham số  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  cho bộ điều khiển PID, có thể kể đến một số phương pháp như: Phương

pháp Ziegler - Nichols; Phương pháp Chien -Hrones - Reswick; Phương pháp tổng T của Kuhn; Phương pháp tối ưu độ lớn và phương pháp tối ưu đối xứng; Phương pháp tối ưu theo sai lệch bám, [5].

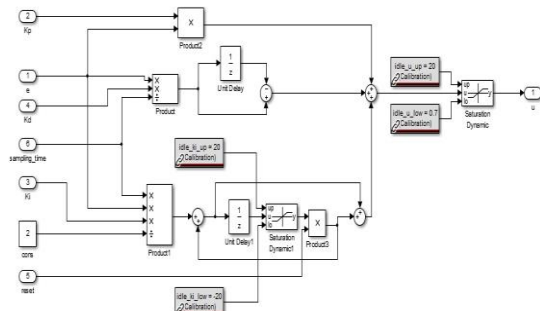
Để lựa chọn bộ điều khiển phù hợp, tác giả đã sử dụng phương pháp Ziegler - Nichols nhằm xác định bộ điều khiển và các tham số điều khiển, theo các bước cụ thể sau, [5]:

Bước 1: Đặt  $k_I = 0$ ;  $k_D = 0$ , Tăng dần giá trị  $k_P$  đến khi dao động tuần hoàn. Đặt giá trị  $k_P = k_{th}$  và xác định chu kỳ dao động  $T_{th}$ .

Bước 2: Lựa chọn bộ điều khiển và tham số bộ điều khiển theo chu kỳ  $T_{th}$  và hệ số  $k_{th}$  như sau:  $k_P = 0,6.k_{th}$ ;  $k_I = 2.k_P/T_{th}$ ;  $k_D = k_P.T_{th}/8$ .

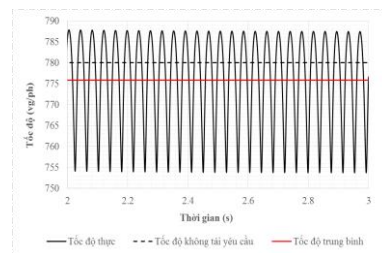
### 2.3. Bộ điều khiển tốc độ không tải

Lỗi không tải ( $e$ ) được xác định bằng sai số giữa số vòng quay không tải thực và số vòng quay không tải yêu cầu. Để hiệu chỉnh số vòng quay không tải, cần hiệu chỉnh các thông số  $idle\_k_p$ ;  $idle\_k_i$ ;  $idle\_k_d$ , với sơ đồ điều khiển vòng kín được thể hiện trên Hình 4.

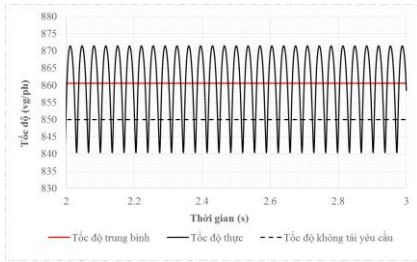


Hình 4. Sơ đồ điều khiển vòng kín số vòng quay không tải của động cơ

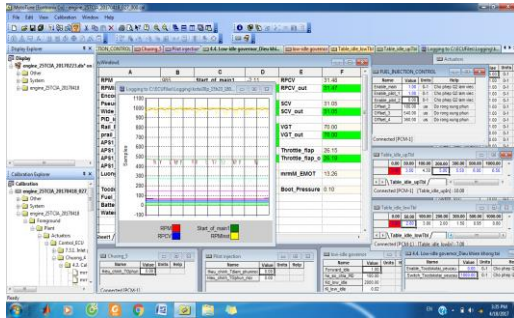
Hình 5, Hình 6 biểu diễn số vòng quay không tải mô phỏng và lượng phun không tải mô phỏng của động cơ 2.5 TCI-A sử dụng B20 khi số vòng quay không tải yêu cầu lần lượt là 800 (v/ph); 900 (v/ph). Với mỗi tốc độ không tải yêu cầu các tham số điều khiển là  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  được xác định như trong Bảng 1.



Hình 5. Số vòng quay không tải thực ứng với số vòng quay không tải yêu cầu 800 (v/ph)



**Hình 6. Số vòng quay không tải thực ứng với số vòng quay không tải yêu cầu 900 (v/ph)**



**Hình 7. Màn hình hiển thị, hiệu chỉnh các thông số điều khiển số vòng quay không tải trong phần mềm Mototune**

Nhằm đánh giá mức độ cải thiện về đặc tính kỹ thuật và mức phát thải của động cơ khi sử dụng bộ điều khiển không tải quy trình thử nghiệm được tiến hành như sau:

Quy trình thử nghiệm để hiệu chỉnh, đánh giá mức độ cải thiện mức phát thải của động cơ khi sử dụng bộ điều khiển ở chế độ không tải; động cơ đặt trên băng thử động cơ của Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

Bước 1: Động cơ sử dụng bộ điều khiển không tải, hiệu chỉnh các thông số idle\_ki\_low, idle\_ki\_up, idle\_u\_up, idle\_u\_low để đạt tốc độ không tải yêu cầu.

Bước 2: Đo phát thải của động cơ tại tốc độ không tải khi động cơ sử dụng bộ điều khiển không tải và động cơ nguyên bản.

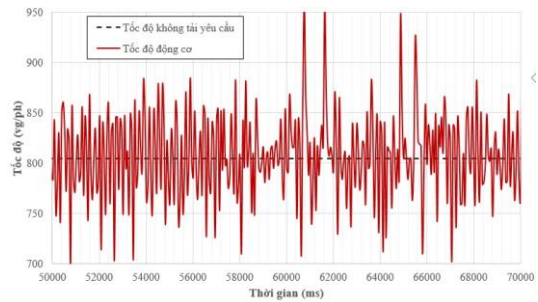
Khi động cơ sử dụng bộ điều khiển tốc độ không tải đặt trên băng thử, cần hiệu chỉnh tốc độ không tải thực. Để hiệu chỉnh số vòng quay không tải, cần hiệu chỉnh các thông số  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ . Các thông số này được điều chỉnh trực tiếp trên màn hình máy tính (Hình 7), thông qua phần mềm chuyên dụng để lập trình ECU (MotoTune của hãng MotoHawk, Mỹ), phần cứng tiêu chuẩn (ECU trắng của hãng Woodward, Mỹ).

Hình 7 biểu diễn số vòng quay không tải thực của động cơ 2.5 TCI-A khi số vòng quay không tải yêu cầu là 800 (v/ph). Ta thấy, mức độ dao động tương đối

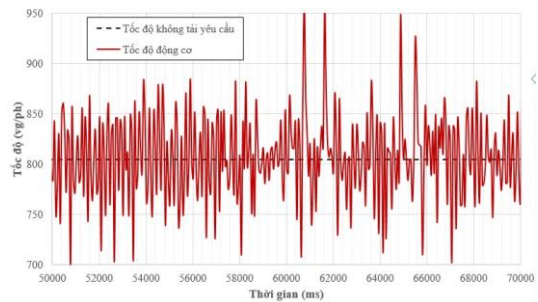
lớn (có thời điểm, mức tải dao động đến 250 (v/ph)) làm cho động cơ bị rung giật. Sau khi hiệu chỉnh các hệ số điều khiển không tải ( $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ ), mức độ dao động của số vòng quay không tải giảm xuống (mức dao động lớn nhất chỉ còn khoảng  $\leq 80$  (v/ph)) như được thể hiện trên Hình 8.

**Bảng 1. Giá trị các thông số hiệu chỉnh số vòng quay không tải**

Hệ số điều khiển PID	Tốc độ không tải yêu cầu, v/ph					
	750	800	850	900	950	1000
$k_P$	3,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,5
$k_I$	0,08	0,09	0,095	0,1	0,2	0,3
$k_D$	0,9	1,0	1,0	1,2	1,5	0,95



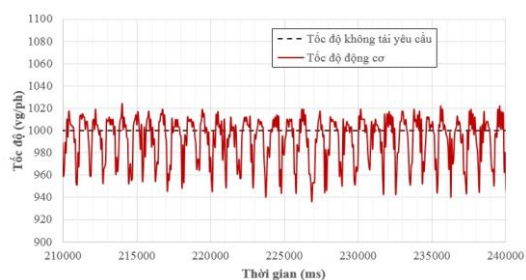
**Hình 8. Số vòng quay không tải thực chưa hiệu chỉnh (tốc độ không tải yêu cầu là 800 v/ph)**



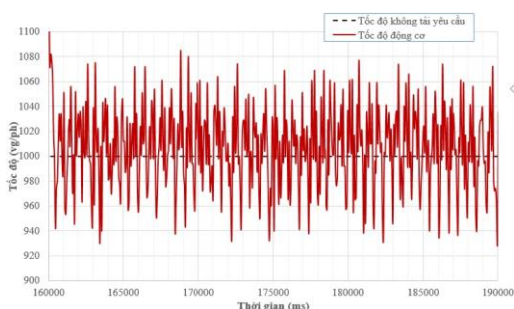
**Hình 9. Số vòng quay không tải thực đã hiệu chỉnh (tốc độ không tải yêu cầu là 800 v/ph)**

Trên Hình 9 biểu diễn số vòng quay không tải thực của động cơ 2.5 TCI-A khi số vòng quay không tải yêu cầu là 1000 (v/ph) (ta thấy, mức độ dao động tương đối lớn, khoảng 140 (v/ph)).

Sau khi hiệu chỉnh các hệ số điều khiển không tải, mức độ dao động giảm xuống chỉ còn khoảng 60 (v/ph) (Hình 10). Giá trị của các thông số hiệu chỉnh số vòng quay không tải được trình bày trên Bảng 3.



Hình 10. Số vòng quay không tải thực đã hiệu chỉnh (tốc độ không tải yêu cầu là 1000 v/ph)



Hình 11. Số vòng quay không tải thực chưa hiệu chỉnh (tốc độ không tải yêu cầu là 1000 v/ph)

Kết quả so sánh phát thải của động cơ 2.5 TCI-A khi sử dụng bộ điều khiển không tải và động cơ nguyên bản với nhiên liệu B20 tại chế độ không tải, ta thấy: Tại chế độ không tải, động cơ khi sử dụng bộ điều khiển không tải phát thải CO giảm 14,34%, phát thải HC giảm 19,2%, phát thải NO<sub>x</sub> tăng 70,54% và phát thải PM không thay đổi so với động cơ nguyên bản với nhiên liệu B20.

## 5. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển tốc độ không tải của động cơ diesel dùng hệ thống phun kiểu common rail khi sử dụng biodiesel. Từ các kết quả phân tích ở trên cho thấy Động cơ D4CB 2.5TCI-A khi sử dụng nhiên liệu B20 làm việc bình thường ở chế độ không tải. Tại chế độ không tải, động cơ khi sử dụng bộ điều khiển tốc độ không tải phát thải CO giảm HC giảm, phát thải NO<sub>x</sub> tăng và phát thải PM không thay đổi so với động cơ sử dụng ECU nguyên bản với nhiên liệu B20.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nikzadfar, K., Noorpoor, A., & Shamekhi, A. H, *Design of an optimal idle speed controller for a turbocharged diesel engine using fuzzy logic method*, Journal of mechanical science and technology, 26(8), 2325-2336, 2012.

Bảng 2. Giá trị các thông số hiệu chỉnh số vòng quay không tải

Hệ số điều khiển PID	Tốc độ không tải yêu cầu, vg/ph					
	750	800	850	900	950	1000
$k_P$	3,2	7,5	7,3	7,1	7,0	7,4
$k_I$	0,08	0,09	0,095	0,15	0,3	0,25
$k_D$	0,95	1,2	1,2	1,5	1,5	0,9

Bảng 3. Giá trị các thông số hiệu chỉnh số vòng quay không tải

Hệ số điều khiển PID	Tốc độ không tải yêu cầu, vg/ph					
	750	800	850	900	950	1000
$k_P$	3,2	7,5	7,3	7,1	7,0	7,4
$k_I$	0,08	0,09	0,095	0,15	0,3	0,25
$k_D$	0,95	1,2	1,2	1,5	1,5	0,9

[2] Kang, E., Hong, S., & Sunwoo, *Idle speed controller based on active disturbance rejection control in diesel engines*, International Journal of Automotive Technology, Vol.17(6), pp.937-945, 2016.

[3] Robert Bosch GmbH, *Software Documentation Basis*, 2000.

[4] Nguyễn Hoàng Vũ, *Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học (B10 và B20) cho phương tiện cơ giới quân sự*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH và PTCN cấp Nhà nước Mã số ĐT.06.12/NLSH (thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025).

[5] Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2009.

Ngày nhận bài:	30/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	05/8/2021
Ngày duyệt đăng:	11/8/2021