

NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH THỬ NGHIỆM ĐỘNG CƠ CHUYỂN ĐỔI MỘT XYLANH THAY ĐỔI ÁP SUẤT VỎI PHUN KHÍ THIÊN NHIÊN TRÊN ĐƯỜNG NẠP

RESEARCH ON EXPERIMENTAL PROCESS OF SINGLE CYLINDER CONVERTED ENGINE WITH VARYING NATURAL GAS PRESSURE OF PORT INJECTOR

NGUYỄN ĐỖ THỊ ĐAN THANH^{1,a}, NGUYỄN HOÀNG NHÂN¹

¹ Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

^aTác giả liên hệ: Thanhndtd@vlute.edu.vn

Nhận bài(Received): 11/07/2023; Phản biện (Reviewed):21/7/2023; Chấp nhận (Accepted):24/9/2023

TÓM TẮT

Nghiên cứu chuyển đổi động cơ diesel một xylanh thành động cơ khí thiên nhiên là một giải pháp công nghệ không những phù hợp với điều kiện nước ta hiện nay mà còn hướng đến mục tiêu đến năm 2050 Việt Nam có lượng phát thải ròng carbon dioxide (CO₂) bằng không. Để thu thập số liệu phục vụ nghiên cứu phát triển động cơ khí thiên nhiên có hiệu suất làm việc cao và đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải ngặt nghèo, cần phải xây dựng quy trình vận hành hệ thống thử nghiệm rõ ràng. Mục đích của bài báo này là giới thiệu về động cơ chuyển đổi một xylanh phục vụ nghiên cứu, các trang thiết bị đo và thu thập dữ liệu của Phòng thí nghiệm động cơ đốt trong – Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long. Trong giới hạn của nghiên cứu này, một quy trình vận hành hệ thống thí nghiệm phục vụ nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất phun trên đường nạp đến sự vận hành của động cơ diesel một xylanh sử dụng nhiên liệu khí thiên nhiên đã được thiết lập.

Từ khóa: Khí thiên nhiên, Động cơ một xylanh, Quy trình thử nghiệm, Vòi phun trên đường nạp, Áp suất phun nhiên liệu..

ABSTRACT

Study on converted single-cylinder diesel engine to natural gas engine which is not only a suitable technological solution for current Vietnamese conditions but also a possible path to achieve net-zero carbon emissions in Vietnam by 2050. In order to collect data for research and development of natural gas engines which have high performance and meet strict emission standards, it is necessary to create a clear experimental process. The objective of this paper is to introduce the research of single-cylinder converted engines, measuring systems, and data collection devices of the Internal combustion engine laboratory at Vinh Long University of Technology Education. In the scope of this study, a procedure for operating the experimental system to study the effects of port injection pressure on the operation of a single-cylinder diesel engine using natural gas fuel was established.

Keywords: Natural gas, Single-cylinder engine, Experimental process, Port injector, Injection pressure.

1. GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu đang có nhiều tác động tiêu cực đến mọi mặt, bao gồm kinh tế, chính trị, ngoại giao, an ninh toàn cầu. Nhằm hạn chế các tác động này và hướng đến đạt mức phát thải ròng bằng “0”, ngày 26 tháng 07 năm 2022, Thủ tướng chính phủ đã ký quyết định số 896/QĐ-TTg về việc phê duyệt chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050. Nhiệm vụ chung đến năm 2030: giảm 30% mức phát thải khí Mê-tan (CH_4) so với năm 2020, chuyển đổi sang sử dụng nhiên liệu sạch cho các phương tiện giao thông, tái sử dụng phế phụ phẩm trồng trọt và xử lý chất thải chăn nuôi làm phân hữu cơ, tạo khí sinh học. Điều này đặt ra yêu cầu cho ngành động cơ đốt trong cần chủ động thích ứng, cải tiến trong thiết kế các loại động cơ nhằm tăng hiệu quả sử dụng nhiên liệu, giảm phát thải và hạ thấp chi phí vận hành. Sử dụng CNG làm nhiên liệu cho động cơ diesel là một giải pháp phù hợp với điều kiện nước ta hiện nay và hướng đến mục tiêu phát thải ròng bằng “0” đến năm 2050. Thành phần chủ yếu của khí sinh học (Biogas) là khí CH_4 chiếm đến 70% và khoảng 30% là khí CO_2 , một lượng rất ít là khí H_2S , N_2 , H_2 và hơi nước [1]. Tuy nhiên khi thành phần khí CH_4 đạt từ 80% trở lên thì được coi là khí thiên nhiên, để tăng khả năng dự trữ năng lượng và giảm thể tích lưu trữ khí thiên nhiên được nén lại với áp suất khoảng 250 bar, gọi là khí CNG [2]. Nguồn cung khí thiên nhiên ở nước ta tương đối lớn, thường tồn tại ở các mỏ khí hoặc thu hồi từ quá trình khai thác dầu mỏ, hay các băng cháy và thu hồi được từ quá trình khai thác than đá [3]. Khí CNG được biết đến như là một loại nhiên liệu thay thế cho các loại nhiên liệu lỏng gốc dầu mỏ bởi những ưu điểm như: giá thành rẻ, an toàn trong lưu trữ, sử dụng, sản phẩm của

quá trình cháy hầu như không tạo muội, đặc biệt là giảm đáng kể khí thải gây hiệu ứng nhà kính [4]. Tuy nhiên khi chuyển đổi động cơ diesel thành động cơ lưỡng nhiên liệu vẫn tồn tại một số nhược điểm như: Hệ thống nhiên liệu phức tạp, điều chỉnh tỷ lệ CNG/diesel để có được một hỗn hợp đồng nhất là rất khó, hiệu suất làm việc của động cơ thấp khi động cơ làm việc ở chế độ tải nhỏ hoặc không tải [5]. Hạn chế lớn nhất của động cơ lưỡng nhiên liệu (CNG/diesel) là vẫn còn sử dụng nhiên liệu gốc dầu mỏ, do vậy cần phải có phương án chuyển đổi thành động cơ khí thiên nhiên. Đối với động cơ diesel khi chuyển thành động cơ khí thiên nhiên cần phải giảm tỉ số nén [6,7,8,9,10,11,12], thay đổi kết cấu buồng cháy phải phù hợp cho việc hòa trộn không khí với khí thiên nhiên tạo điều kiện cho việc nâng cao được hiệu quả của quá trình cháy, bổ sung hệ thống đánh lửa không có bugi [13, 14, 15]. Hệ thống cung cấp nhiên liệu cũng cần phải thay đổi: Hệ thống nhiên liệu diesel được loại bỏ và thay thế bằng hệ thống nhiên liệu khí thiên nhiên. Do thành phần khí thiên nhiên không có hơi nước, khi đốt cháy cùng một khối lượng như nhau, khí thiên nhiên có nhiệt lượng cao hơn. Đây là lý do nhiệt độ trong buồng cháy ở động cơ khí thiên nhiên cao hơn so với nhiên liệu diesel, vì vậy phải thay đổi hệ thống làm mát, hệ thống bôi trơn để đảm bảo nhiệt độ làm việc của động cơ được ổn định [16]. Động cơ sau chuyển đổi cũng cần hiệu chỉnh lại các thông số kỹ thuật cho phù hợp như góc mở sớm và đóng muộn của xúp-páp nạp và thải [17]. Động cơ diesel sau chuyển đổi có vòi phun nhiên liệu đặt trên đường ống nạp nên các thông số như: áp suất phun nhiên liệu, vị trí đặt vòi phun cũng cần được nghiên cứu và kiểm soát [18]. Tuy nhiên, quy trình vận hành hệ thống thử nghiệm để thu thập số liệu phục vụ nghiên cứu về động cơ khí thiên nhiên

chuyển đổi cho đến nay vẫn chưa rõ ràng hoặc chưa được công bố. Xuất phát từ lý do này, nhóm tác giả đã tiến hành “Nghiên cứu quy trình thử nghiệm động cơ chuyển đổi một xy lanh thay đổi áp suất vòi phun khí thiên nhiên trên đường nạp” tại Phòng thí nghiệm động cơ đốt trong, khoa Động lực, Trường Đại học sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long. Để thu được số liệu phục vụ nghiên cứu, trước tiên phải hiểu được các trang thiết bị trong phòng thử.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mục đích thí nghiệm

Mục đích của thí nghiệm là xem xét ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu đến các thông số như lượng nhiên liệu cung cấp, mô men, công suất và các chỉ số về khí thải của động cơ. Lượng nhiên liệu có thể được tính toán bằng công thức [18]:

$$m_{delivery} = \eta_v \cdot \rho_{ref} \cdot V_{disp} \cdot n \cdot \frac{1}{\left(\frac{A}{F}\right)_{engine}} \cdot \frac{6}{N_{cyl} \cdot \Delta\alpha_{inj}}$$

Trong đó:

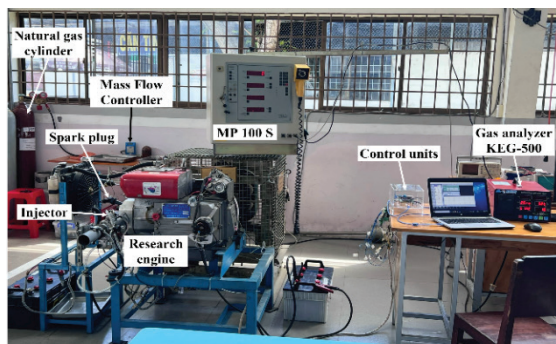
- $m_{delivery}$: Lưu lượng nhiên liệu phun, (g/s).
- η_v : Hệ số nạp.
- ρ_{ref} : Khối lượng riêng không khí, (kg/m³).
- V_{disp} : Thể tích công tác xy lanh, (m³).
- n: Tốc độ động cơ, (vòng/phút).
- $(A/F)_{engine}$: Tỷ lệ A/F của nhiên liệu.
- N_{cyl} : Số xy lanh trong động cơ.
- $\Delta\alpha_{inj}$: Thời gian phun.

2.2. Trang thiết bị thử nghiệm

2.2.1. Bố trí hệ thống thí nghiệm

Hình 1 và hình 2 thể hiện bố trí các trang thiết bị thí nghiệm tổng thể, các thiết

bị chính sử dụng trong thí nghiệm gồm: Động cơ nghiên cứu một xy lanh nằm ngang được thiết kế lại từ động cơ diesel với các thông số được trình bày trong Bảng 1. Hệ thống cung cấp nhiên liệu khí thiên nhiên gồm: thùng chứa nhiên liệu CNG áp suất 150 bar, hai bộ van giảm áp, thiết bị đo tiêu thụ nhiên liệu CNG (Mass Flow Controller: MFC) và một vòi phun CNG (kiểu vòi phun hồ) lắp trên đường ống nạp, Dynamometer để đo mô men động cơ, thêm vào đó là các hệ thống nạp/thải, hệ thống làm mát, bộ điều khiển động cơ, bộ thu thập dữ liệu và một vài hệ thống đo khác.



Hình 1. Sơ đồ bố trí hệ thống thí nghiệm



Hình 2. Động cơ và thiết bị thí nghiệm[13]:

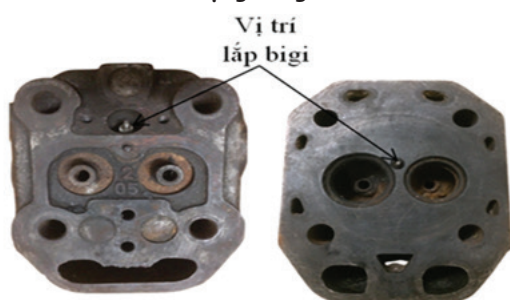
Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ nghiên cứu

Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị	Thứ nguyên
Đường kính xy lanh	D	103	mm
Hành trình piston	S	115	mm
Dung tích xy lanh	V _{tp}	1,03	Lít
Tỷ số nén	ε	10	-

2.2.2. Động cơ nghiên cứu



Hình 3. Động cơ nghiên cứu



Hình 4. Vị trí bugi trên nắp máy

Động cơ diesel S1100 4 kỳ, một xy lanh nằm ngang, làm mát kiểu bốc hơi tự nhiên, tỷ số nén, $\varepsilon = 20$, khởi động bằng tay và bôi trơn cưỡng bức được chuyển đổi thành động cơ nghiên cứu như hình 3. Hệ thống làm mát được bổ sung thêm bơm nước, két làm mát nước, quạt làm mát, bình ngưng, đường nước vào động cơ và đường nước ra khỏi động cơ. Nắp máy được gia công lại để lắp bugi thay cho vòi phun diesel như hình 4. Bánh đà được gia công lại để gắn vành răng khởi động và lắp thêm động cơ điện khởi động như hình 5.

2.3. Chuẩn bị thí nghiệm

2.3.1. Hiệu chỉnh thiết bị đo

Trước khi thực hiện thí nghiệm, cần hiệu chỉnh lại thiết bị đo để hệ thống làm việc chính xác và hiệu quả trong quá trình thí nghiệm. Thiết bị Dynamometer đo mô men động cơ được hiệu chỉnh theo các bước như sau:

- Kiểm tra nguồn điện cung cấp cho

thiết bị, bật thiết bị đo

- Xoay công tắc chính trên bảng điều khiển về vị trí “ON”

- Nhấn phím “0 Nm”, sau đó “250” nhấp nháy trên bảng hiển thị.

- Lắp đặt cần hiệu chỉnh vào lỗ cân chỉnh trên cụm phanh và đợi đến khi nó ngừng rung.

- Nhấn phím “giá trị hiệu chỉnh” (Calibration value).

- Việc hiệu chỉnh giá trị đo của mô men xoắn được hoàn tất khi bảng hiển thị báo giá trị 250 Nm.

- Tháo cần hiệu chỉnh ra khỏi thiết bị, bảng hiển thị báo giá trị “0”, thiết bị đã sẵn sàng hoạt động.

2.3.2. Chạy âm máy

Mục đích chạy âm máy là để trạng thái nhiệt của động cơ đạt trạng thái làm việc của động cơ trước khi thay đổi tải thí nghiệm. Trạng thái làm việc được kiểm soát qua các cảm biến: nhiệt độ nước làm mát vào và ra khỏi động cơ, nhiệt độ và áp suất dầu làm việc, nhiệt độ khí nạp và thải.

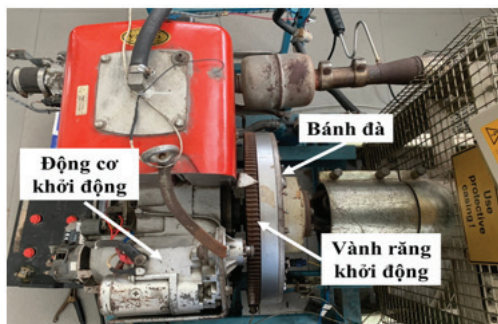
Yêu cầu của hệ thống động cơ là phải được chạy hâm nóng trước khi tiến hành đo để đạt được kết quả chính xác. Quá trình chạy hâm nóng động cơ được tiến hành như sau:

- Trước khi cho nổ động cơ, cần cung cấp nhiên liệu cho động cơ bằng cách: Mở van bình nhiên liệu, xoay van điều áp điều chỉnh nhiên liệu ra ở áp suất cần khảo sát.

- Khởi động động cơ cho chạy ở chế độ cầm chừng khoảng 2 – 5 phút để nhiệt độ động cơ tăng lên.

- Trước khi cho dừng động cơ, phải tiến hành giảm ga và giảm tải bằng cách vận nút điều khiển tốc độ và vị trí thanh

răng để đóng bướm ga, xoay cần gạt nhiên liệu cấp vào đường ống nạp sang chế độ “OFF” để cắt nhiên liệu cấp cho động cơ. Động cơ được dừng lại hoàn toàn.



Hình 5: Hệ thống khởi động điện

3.3. Quy trình thử nghiệm

Trong nghiên cứu này, áp suất phun nhiên liệu được khảo sát với các giá trị từ 1 bar đến 5 bar, với bước thay đổi là 1 bar. Tốc độ động cơ được thay đổi từ 1000 vòng/phút đến 2200 vòng/phút, với bước thay đổi là 200 vòng/phút. Góc đánh lửa sớm được thay đổi từ 20 đến 30 độ trước điểm chết trên, với bước thay đổi là 2 độ góc quay trục khuỷu. Quy trình thí nghiệm được tiến hành qua các bước như sau:

- **Bước 1:** Mở van bình nhiên liệu, xoay van điều áp điều chỉnh áp suất nhiên liệu ra tại áp suất 1 bar.

- **Bước 2:** Đề nổ động cơ, mở van cấp nhiên liệu vào ống nạp, dịch chuyển vị trí thanh răng đến vị trí bướm ga mở lớn nhất. Chờ khoảng 15 – 20 giây cho động cơ hoạt động ổn định.

- **Bước 3:** Tiến hành điều chỉnh góc đánh lửa sớm: Trên mặt của bánh đà đã có sẵn các vạch chia để thuận tiện cho việc điều chỉnh góc đánh lửa sớm. Quy trình điều chỉnh được thực hiện lần lượt “Nới lỏng đai ốc hoặc bulong cố định bộ chia điện => Xoay bộ chia điện tới vị trí muốn điều chỉnh => Xiết lại các bulong hoặc đai

ốc bộ chia điện”. Thực hiện điều chỉnh tới 20 độ trước điểm chết trên.

Lưu ý: Đảm bảo vặn chặt các bulong, đai ốc. Thông thường, chiều quay của rotor trong bộ chia điện cùng chiều với động cơ theo chiều quay kim đồng hồ. Vì vậy muốn thời điểm lửa đánh sớm hơn thì quay bộ chia điện ngược kim đồng hồ, muốn thời điểm đánh lửa tới trễ hơn thì quay cùng chiều kim đồng hồ.

- **Bước 4:** Tăng tốc độ động cơ đến các tốc độ thí nghiệm cần đo. Tốc độ thí nghiệm ban đầu nhỏ nhất tại 1000 vòng/phút.

- **Bước 5:** Xoay núm điều khiển phanh từ từ ngược chiều kim đồng hồ cho đến khi động cơ được phanh và tốc độ động cơ giảm xuống đến giá trị yêu cầu cần đo, đồng thời kết hợp điều chỉnh lượng nhiên liệu phun vào đường nạp. Chờ từ 5 – 10 giây cho động cơ hoạt động ổn định.

- **Bước 6:** Đọc và ghi các giá trị tốc độ, mô men, công suất trên bảng hiển thị của thiết bị đo công suất MP 100S.

- **Bước 7:** Quan sát và in kết quả giá trị các thành phần phát thải từ thiết bị đo khí thải KEG 500.

- **Bước 8:** Ghi giá trị lưu lượng CNG từ thiết bị đo lưu lượng, nhiệt độ khí thải từ cảm biến đo, nhiệt độ nước làm mát từ cảm biến lắp trên két làm mát.

- **Bước 9:** Tiếp tục tăng tốc độ động cơ lên với bước nhảy 200 vòng/phút để thử nghiệm ở các mức tốc độ khác.

- **Bước 10:** Lặp lại các Bước 5, 6, 7, 8 như trên. Ghi và tổng hợp lại kết quả.

- **Bước 11:** Tiến hành điều chỉnh góc đánh lửa sớm tới các giá trị 22, 24, 26, 28 và 30 độ trước điểm chết trên và thực hiện lại các bước từ Bước 4 => Bước 9.

• **Bước 12:** Trước khi dừng động cơ ta cần giảm ga và giảm tải bằng cách vận nôm điều khiển tốc độ về khoảng 1000 vòng/phút, vận trả vị trí thanh răng đóng bướm ga về khoảng 10%, xoay cần gạt nhiên liệu cấp cho đường nạp sang vị trí “OFF” để cắt nhiên liệu, tắt động cơ.

• **Bước 13:** Chờ khoảng 2 – 3 phút cho động cơ nguội bớt, giảm nhiệt độ xuống. Điều chỉnh van điều áp của bình nhiên liệu để cho áp suất nhiên liệu ra tại 2 bar phục vụ cho chế độ đo thử nghiệm tiếp theo

• **Bước 14:** Lặp lại trình tự các bước như trên thực hiện thí nghiệm với các điều kiện áp suất nhiên liệu còn lại (từ 2 bar đến 5 bar).

Kết thúc thí nghiệm

Kết quả:

• Khi tăng áp suất phun từ 1 bar đến 3 bar thì lượng nhiên liệu tăng rất nhanh, tuy nhiên ở áp suất 4 bar và 5 bar thì lượng nhiên

liệu không thay đổi nhiều do dòng chảy của nhiên liệu đã đạt trạng thái siêu âm.

Nhận xét:

• Với cùng một lượng nhiên liệu cấp trong một chu trình, tăng áp suất phun sẽ giúp cải thiện mô men và công suất của động cơ do cải thiện được sự hòa trộn của hỗn hợp nhiên liệu và không khí.

• Khi tăng áp suất phun, cần thiết phải điều chỉnh góc đánh lửa sớm trong khoảng 14 đến 18 độ trước điểm chết trên để đạt được mô men lớn nhất.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình vận hành hệ thống thử nghiệm động cơ chuyển đổi một xylanh thay đổi áp suất vòi phun khí thiên nhiên trên đường nạp. Đây sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu về động cơ sử dụng nhiên liệu khí thiên nhiên phun trên đường nạp trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. PGS Lê Anh Tuấn (chủ biên), PGS. Phạm Hữu Tuyền, PGS. Văn Đình Sơn Thọ, (2017), “*Nhiên liệu thay thế dùng cho động cơ đốt trong*”, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội.
- [2]. Quoc Dang Tran, Tam Thanh Tran & Vinh Nguyen Duy, (2022), “*An experimental investigation on performance of converted CNG engine by varying piston bowl geometry: A case study*”, Journal of the Air & Waste Management Association, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, pp: 1-17.
- [3]. Trần Thanh Tâm, Trần Đăng Quốc, Lê Anh Tuấn, (2016), “*Nghiên cứu tổng quan sử dụng CNG làm nhiên liệu cho động cơ diesel*”, Kỹ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí – Động lực 2016, tại Đại học Bách Khoa Hà Nội, Trang 91-96.
- [4]. Tran Dang Quoc, Changhee Byun, Jong Tai Lee, (2012), “*Expansion of Lean Burn Region in Direct Injection Natural Gas Engine for Reducing NOx Emissions*”, The 2nd International Conference on Automotive Technology, Engine and Alternative Fuels, Ho Chi Minh City, Vietnam, December 4-5, 2012, pp. 100-150.

- [5]. Nguyễn Đức Khánh, Trần Đăng Quốc, (2013), “*Đánh giá tính năng làm việc và phát thải độc hại của động cơ diesel khi sử dụng lưỡng nhiên liệu CNG/Diesel*”, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí Toàn quốc năm 2013, Trang 380 – 386.
- [6]. Trần Đăng Quốc, Nguyễn Đức Khánh, Trần Thanh Tâm, (2015), “*Nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của tỷ số nén tới tính năng làm việc của động cơ đánh lửa cưỡng bức sử dụng nhiên liệu CNG*”, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí Toàn quốc năm 2015, Trang 535 – 540.
- [7]. Trần Đăng Quốc, Khổng Vũ Quang, Nguyễn Đức Khánh, Nguyễn Tuấn Nghĩa, Nguyễn Thành Vinh, Nguyễn Phi Trường, Vũ Thị Phương, (2016), “*Nghiên cứu Ảnh hưởng của tỷ số nén ở động cơ một xy-lanh khi sử dụng nhiên liệu CNG hình thành hỗn hợp bên ngoài*”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội tháng 4 năm 2016, Trang 60 – 64.
- [8]. Hồ Hữu Chấn, Cao Hùng Phi, Trần Đăng Quốc, (2016), “*Ảnh hưởng của trạng thái pha nhiên liệu đến tỷ số nén giới hạn ở động cơ một xy-lanh cháy cưỡng bức*”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội tháng 12 năm 2016, Trang 60 – 64.
- [9]. Trần Thanh Tâm, Trần Đăng Quốc, Lê Anh Tuấn, (2017), “*Nghiên cứu mối tương quan giữa tỷ số nén và trị số octan yêu cầu ở động cơ diesel một xy-lanh sử dụng nhiên liệu CNG*”, Tạp chí Giao thông vận tải tháng 11 năm 2017, Trang 129 – 132.
- [10]. Trần Đăng Quốc, Vũ Lê Anh, Trần Sỹ Hải, (2018), “*Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ, tỷ số nén và lambda đến góc đánh lửa ở động cơ diesel một xy-lanh sử dụng nhiên liệu CNG*”, Tạp chí Giao thông vận tải tháng 12 năm 2018, Trang 145 – 149.
- [11]. Hồ Hữu Chấn, Lê Văn Công, Cao Hùng Phi, Trần Đăng Quốc, (2020), “*Ảnh hưởng của thông số cấu tạo đến thời gian cháy ở động cơ CNG chuyển đổi một xy-lanh*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số đặc biệt tháng 3 năm 2020, trang 41 – 50.
- [12]. Le Sy Vong, Ho Huu Chan, Tran Dang Quoc, (2022), “*A Study on the Effect of Compression Ratio and Bowl-In-Piston Geometry on Knock Limit in Port Injection Natural Gas Converted Engine*”, In: The AUN/SEED-Net Joint Regional Conference in Transportation, Energy, and Mechanical Manufacturing Engineering, pp. 56-73.
- [13]. Hồ Hữu Chấn, Lê Văn Công, Cao Hùng Phi, Trần Đăng Quốc, (2021), “*Một nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ số nén và hình dạng đỉnh piston đến hiệu suất làm việc của động cơ CNG chuyển đổi*”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, số 75, tháng 9 năm 2021, trang 57 – 64.
- [14]. Anh Tuan Le, Dang Quoc Tran, Thanh Tam Tran, Anh Tuan Hoang & Van Viet Pham, (2020), “*Performance and combustion characteristics of a retrofitted CNG engine under various piston-top shapes and compression ratio*”, Journal of the Air & Waste Management Association, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects Taylor & Francis Online, Vol. 42, năm 2020, pp. 1 – 17.

- [15]. Anh Tuan Le, Dang Quoc Tran, Thanh Tam Tran, Anh Tuan Hoang & Van Viet Pham, (2020), “*Performance and combustion characteristics of a retrofitted CNG engine under various piston-top shapes and compression ratio*”, Journal of the Air & Waste Management Association, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects Taylor & Francis Online, Vol. 42, năm 2020, pp. 1 – 17.
- [16]. Quoc Dang Tran, Tam Thanh Tran, and Vinh Nguyen Duy, (2022), “*An experimental investigation on performance of converted CNG engine by varying piston bowl geometry: A case study*”, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 72, Issue 4, 02/2022, pp. 1 - 9.
- [17]. Trần Đăng Quốc, Đào Minh Tiên, (2020), “*Ảnh hưởng của thời điểm mở xúp-páp đến mô men của động cơ CNG chuyển đổi ở tốc độ cố định*”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, số 69, tháng 6 năm 2020, Trang 70 – 78.
- [18]. Trần Đăng Quốc, Đào Minh Tiên, (2021), “*Ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu đến mô men và công suất động cơ CNG một xy lanh chuyển đổi*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 3, năm 2021, Trang 93 – 100.