BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

NGUYỄN VĂN PHỤNG

GÓP PHẦN NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG LPG TRÊN ĐỘNG CƠ NÉN CHÁY

Chuyên ngành: Kỹ thuật Động cơ Nhiệt
Mã số: 62. 52. 34. 01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Đà Nẵng – 2014

Công trình được hoàn thành tại
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học:

1. **PGS.TS. Trần Văn Nam**
2. **PGS.TS. Trần Thanh Hải Tùng**

Phản biện 1: **PGS.TS. Nguyễn Hoàng Vũ**
Phản biện 2: **PGS.TS. Lê Anh Tuấn**
Phản biện 3: **TS. Nhan Hồng Quang**

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng chấm Luận án Tiến sĩ kỹ thuật cấp Đại học Đà Nẵng họp vào ngày 27 tháng 9 năm 2014 tại Đại học Đà Nẵng.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

– Trung tâm Học liệu - Đại học Đà Nẵng.
– Thư viện Quốc gia, Hà Nội.

MỞ ĐẦU

I/ LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI

- Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay ở các nước đang và kém phát triển, đặc biệt ở nước ta ô tô sử dụng động cơ diesel truyền thống (được gọi là *động cơ nén cháy - compression ignition engines*) còn đang lưu hành khá phổ biến. Mức độ ô nhiễm khí thải của chúng đã vượt xa giới hạn cho phép. Để nâng cao hiệu suất và giảm ô nhiễm môi trường cho động cơ nén cháy, các nhà nghiên cứu đã áp dụng hệ thống phun nhiên liệu common rail và giải pháp giảm ô nhiễm trên đường thải; nhưng giá thành động cơ loại này tăng cao, khó cạnh tranh với động cơ xăng. Vì vậy, cần phải tìm thêm các giải pháp khác để nghiên cứu sử dụng một cách hiệu quả động cơ diesel này. Một trong những biện pháp được quan tâm là nghiên cứu chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng khí dầu mỏ hóa lỏng (LPG) trên các phương tiện giao thông (PTGT). Đây là giải pháp hữu hiệu và cần thiết nhằm giảm ô nhiễm môi trường đô thị và các khu đông dân cư. Ngoài lợi thế thân thiện với môi trường, LPG là nhiên liệu an toàn, giá cả rẻ và thuận tiện trong việc chuyển đổi hệ thống nhiên liệu, nên LPG được chọn làm nhiên liệu thay thế cho ô tô. Tuy nhiên, do hiện tượng kích nổ xảy ra, nên LPG chưa được sử dụng rộng rãi trên động cơ diesel. Việt Nam đang xây dựng và phát triển với mục tiêu trở thành nước công nghiệp vào năm 2020. Trong quá trình phát triển kinh tế-xã hội, giao thông vận tải là một ngành quan trọng và ô tô đóng vai trò chính trong sự lớn mạnh của nền công nghiệp.

Vì vậy, nghiên cứu ứng dụng LPG trên động cơ nén cháy không những có ý nghĩa quan trọng lâu dài cho nền công nghiệp ô tô mà hết sức cấp bách và cần thiết đối với đời sống xã hội hiện nay ở nước ta và trên thế giới.

- Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

+ Nền công nghiệp ô tô của nước ta đang trên đà phát triển, cần có những nghiên cứu ứng dụng chuyên sâu để hỗ trợ: Nghiên cứu mô hình quá trình cháy hai nhiên liệu LPG-diesel trong buồng cháy ngăn cách bằng phần mềm ANSYS Fluent có khả năng cung cấp kết quả tính toán nhanh chóng và chính xác, giảm bớt thời gian và chi phí nghiên cứu bằng thực nghiệm.

+ Nhiên liệu LPG có trữ lượng lớn ở Việt Nam và trên thế giới; khi được sử dụng trên động cơ diesel sẽ góp phần làm đa dạng nguồn năng lượng cho phương tiện giao thông và dễ dàng thỏa mãn những tiêu chuẩn khắt khe của Luật Môi trường.

+ Ở nhiều nước trên thế giới, ô tô sử dụng động cơ diesel truyền thống còn đang lưu hành khá phổ biến, cần phải nghiên cứu chuyển đổi chúng sang sử dụng LPG-diesel và tìm các giải pháp khắc phục kích nổ của loại động cơ này.

+ Động cơ WL-Turbo được thực nghiệm trên băng thử công suất APA 204/8 và các thiết bị đo AVL. Động cơ được lắp hệ thống cung cấp LPG-diesel sử dụng bộ điều chỉnh điện tử gồm chip *Atmega32, các cảm biến* (cảm biến lưu lượng LPG, kích phun LPG, lưu lượng khí nạp, kích nổ, vị trí bàn đạp ga, nồng độ LPG) và *các cơ cấu chấp hành.* Nhờ mạch vi điều khiển kết hợp với các cảm biến và cơ cấu chấp hành nên đồng thời thực hiện điều khiển việc phun LPG, điều tiết lượng không khí nạp, điều chỉnh nhiên liệu diesel và tiết lưu khí thải hồi lưu cho phép hạn chế kích nổ và nâng cao tỷ lệ cung cấp LPG.

Đến nay, công trình nghiên cứu xây dựng mô hình quá trình cháy hỗn hợp LPG-diesel trong buồng cháy ngăn cách của động cơ diesel chưa thấy được công bố. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng LPG trên động cơ nén cháy bằng mô hình và thực nghiệm có ý nghĩa khoa học, thời sự và thực tiễn.

II/ MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng LPG trên động cơ diesel truyền thống làm việc ở chế độ tải thường xuyên (tải thấp, tải trung bình), hạn chế kích nổ nhằm góp phần đa dạng hóa nguồn nhiên liệu và giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

III/ ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU VÀ GIỚI HẠN ĐỀ TÀI

Động cơ chọn nghiên cứu thực nghiệm là động cơ WL-Turbo (lắp trên ô tô Mazda 2500, ô tô Ford Ranger) và động cơ 1KZ-TE (lắp trên ô tô Toyota Hilux) được sử dụng phổ biến hiện nay trên PTGT ở nước ta. Trong đó động cơ WL-Turbo có buồng cháy ngăn cách sử dụng hai nhiên liệu LPG và diesel, được thử nghiệm ở chế độ tải thấp và tải trung bình trên băng thử công suất.

IV/ PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, phương pháp mô hình hóa và nghiên cứu thực nghiệm.

V/ CẤU TRÚC LUẬN ÁN

Ngoài phần mở đầu và kết luận, luận án được cấu trúc thành 5 chương, cụ thể:

Chương 1: Tổng quan: Nghiên cứu tình hình động cơ sử dụng hai nhiên liệu LPG-diesel trong nước và trên thế giới.

Chương 2: Cơ sở lý thuyết tính toán quá trình cháy của hỗn hợp LPG-diesel-không khí trong động cơ buồng cháy ngăn cách.

Chương 3: Xây dựng mô hình tính toán quá trình cháy hỗn hợp hai nhiên liệu và mức độ phát ô nhiễm của động cơ WL-Turbo sử dụng LPG-diesel.

Chương 4: Xây dựng và bố trí thí nghiệm.

Chương 5: Kết quả thực nghiệm và bàn luận.

Tóm lại, việc nghiên cứu chuyển đổi động cơ nén cháy sang sử dụng LPG-diesel là một giải pháp đúng đắn và cấp bách, nhằm góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường, đa dạng hóa nguồn năng lượng cho phương tiện giao thông và tạo điều kiện phát triển công nghệ dầu khí ở nước ta.

Chương 1
NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

1.1. Khái quát

1.1.1. Môi trường và phương tiện giao thông

1.1.2. Nhiên liệu thay thế sử dụng trên phương tiện giao thông

1.1.3. Động cơ nén cháy hai nhiên liệu

Động cơ diesel ra đời rất sớm (1892). Động cơ hai nhiên liệu có kết cấu tương tự động cơ diesel, dùng hai nhiên liệu cùng cháy: nhiên liệu chính là nhiên liệu khí và nhiên liệu mồi cùng cháy là nhiên liệu diesel. Công suất của động cơ do hai nhiên liệu tạo ra. Năng lượng nhiên liệu diesel cháy mồi đốt cháy nhiên liệu chính, thay thế năng lượng điện do bu gi đánh lửa.

Quá trình cháy diễn ra với các phản ứng hóa học của phần hỗn hợp hòa trộn trước LPG-không khí và phần nhiên liệu mồi. Hiện tượng phóng thích rất nhanh của phần lớn năng lượng hóa học nhiên liệu khí trong buồng cháy động cơ làm cho tốc độ lan tràn màng lửa rất lớn (tăng gấp 50 lần so với dùng 100% diesel) tạo ra áp suất cục bộ rất cao tác động lên thành buồng cháy sinh ra sóng phản hồi. Sóng này cộng hưởng sóng áp suất lan truyền trên bề mặt buồng cháy gây tiếng gõ kim loại và tác hại đến động cơ gọi là *hiện tượng kích nổ*.

Ưu điểm của động cơ hai nhiên liệu: hiệu suất động cơ tăng và sự đốt cháy hỗn hợp hòa trộn trước xảy ra nhanh chóng hơn so với động cơ chạy 100% diesel. Nhược điểm cần khắc phục là hiện tượng kích nổ thường xảy ra khi động cơ hoạt động tốc độ cao hay chế độ tải lớn.

Công nghệ chuyển đổi động cơ diesel sang dùng LPG-diesel thực hiện theo hai phương án: ①Sử dụng tia lửa điện đốt cháy hỗn hợp LPG-không khí cấp vào đường nạp; động cơ cần giảm tỷ số nén và lắp hệ thống đánh lửa thay thế bơm cao áp và vòi phun diesel. ②Sử dụng tia nhiên liệu diesel để đốt cháy hỗn hợp LPG-không khí cấp vào đường nạp động cơ.

1.2. Tình hình nghiên cứu động cơ dùng hai nhiên liệu LPG-diesel trên thế giới và ở Việt Nam

1.2.1. Các nghiên cứu động cơ dùng LPG-diesel trên thế giới

1.2.2. Các nghiên cứu động cơ dùng LPG-diesel ở Việt Nam

1.2.3. Những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu

Nhìn chung, các công trình về động cơ hai nhiên liệu đã được nghiên cứu theo nhiều chiều hướng khác nhau: Nghiên cứu chế tạo hệ thống cung cấp LPG dùng họng Venturi, nghiên cứu cung cấp LPG-diesel bằng điều khiển điện tử, nghiên cứu về cháy kích nổ, nghiên cứu ứng dụng hồi lưu khí thải trên động cơ, nghiên cứu quá trình cháy nhiên liệu bằng phương pháp mô hình… Hầu hết các công trình nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào động cơ xe buýt, ô tô công suất lớn và tàu thủy. Việc nghiên cứu quá trình cháy LPG-diesel trên động cơ tỉ số nén cao bằng mô hình và thực nghiệm cho đến nay còn rất mới mẻ. Vì vậy luận án tập trung nghiên cứu sử dụng LPG-diesel trên động cơ ô tô du lịch có buồng cháy ngăn cách bằng mô hình và thực nghiệm, với mục tiêu tìm biện pháp nâng cao tính năng kinh tế kỹ thuật và giảm ô nhiễm môi trường.

1.3. Kết luận

Kinh tế xã hội càng phát triển, phương tiện giao thông đa dạng và phong phú, khí thải ô tô càng gây ô nhiễm môi trường; trong khi yêu cầu độ trong sạch của môi trường ngày càng cao; do đó, nghiên cứu sử dụng LPG trên động cơ nén cháy mang tính cấp thiết và góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Khi động cơ nén cháy sử dụng LPG-diesel, khó khăn lớn nhất hiện nay là hạn chế hiện tượng cháy kích nổ. Do đó, muốn hạn chế cháy kích nổ, chúng ta có thể thực hiện bằng cách cấp thêm khí trơ vào buồng cháy hoặc hồi lưu khí thải để làm bẩn hỗn hợp hoặc tăng tỉ lệ năng lượng diesel/LPG.

Chương 2.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH CHÁY HỖN HỢP LPG-DIESEL-KHÔNG KHÍ TRONG BUỒNG CHÁY NGĂN CÁCH

2.1. Cơ sở lý thuyết về quá trình cháy của động cơ dùng LPG-diesel

2.1.1. Phương trình năng lượng của hỗn hợp hai nhiên liệu

Trong Fluent, phương trình năng lượng của hỗn hợp LPG-diesel được biến đổi từ phương trình vận chuyển:

$$\rho \times S_c = A \times G \times \rho_u \times I^{3/4}\left[U_L \times (\lambda_{lp})\right]^{1/2} \times \left[\alpha \times (\lambda_{lp})\right] l_t^{3/4} |\nabla c|$$

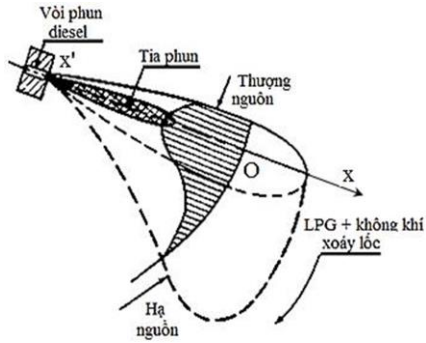
Đại lượng nguồn S_c xác định theo:

$$S_c = \frac{A \times G \times \rho_u}{\rho} \times I\left[\frac{\tau_t}{\tau_c \times (\lambda_{lp})}\right]^{1/2} |\nabla c|$$

Trong đó: A: hằng số mô hình; ρ_u khối lượng riêng của khí chưa cháy đoạn nhiệt (kg/m³); $\tau_c = \alpha/S^2_L$: thang thời gian hóa học (s); $\tau_t = l_t/u'$: thang thời gian rối(s).

2.1.2. Xác định nồng độ oxygen, nồng độ nhiên liệu của hỗn hợp trong buồng cháy ngăn cách

Quá trình cháy hỗn hợp LPG-diesel-không khí là quá trình diễn ra các phản ứng lý hóa trên màng lửa mỏng di động, chịu ảnh hưởng của chuyển động rối nên tốc độ lan tràn màng lửa được xác định nhờ tốc độ màng lửa chảy tầng và cường độ rối; sự chảy rối làm tăng diện tích bề mặt màng lửa sẽ làm tăng tốc độ cháy nhiên liệu (Hình 2.3).



Hình 2.3: *Sơ đồ hòa trộn nhiên liệu diesel mồi với LPG và không khí*

2.1.1. Sự lan tràn màng lửa trong quá trình cháy hỗn hợp hai nhiên liệu

Theo TRẦN VĂN NAM, tốc độ lan tràn màng lửa trung bình của phản ứng cháy trong xi lanh động cơ được mô hình hóa theo phương trình

vận chuyển:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \times c) + \nabla(\rho \times \vec{v} \times c) = \nabla\left(\frac{\mu_t}{Sc_t} \times \nabla c\right) + \rho S_c$$

Với: ρ_u: khối lượng riêng của hỗn hợp chưa cháy; S_t: tốc độ màng lửa rối.

2.1.4. Tốc độ lan tràn màng lửa cháy chảy tầng

- Theo BÙI VĂN GA, tốc độ lan tràn màng lửa cháy chảy tầng phụ thuộc nồng độ nhiên liệu, nhiệt độ và tính chất khuếch tán phân tử động hóa học:

$$S_L = \frac{dm_b / dt}{A_f \times \rho_u}$$

Trong đó: dm_b/dt: tốc độ gia tăng áp suất trong buồng cháy; A_f: bề mặt màng lửa; ρ_u: khối lượng riêng của nhiên liệu chưa cháy.

- Hỗn hợp bị pha bẩn bởi khí cháy, tốc độ lan tràn màng lửa cháy chảy tầng được TRẦN VĂN NAM đề nghị như sau:

$$S_L = S_{L,0} \times \left(a_0 + a_1\phi + a_2\phi^2\right)\left[1 - \left(b_1 \times D + b_2 \times D^2 + b_3 \times D^3\right)\right]\left(\frac{T_u}{T_0}\right)^{\alpha} \times \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\beta}$$

2.1.5. Tốc độ lan tràn màng lửa cháy rối

Tốc độ màng lửa chảy rối được xác định:

$$S_t = A \times (u')^{3/4} \times S_L^{1/2} \times \alpha^{-1/4} \times l_t^{1/4} = A \times u' \times \left(\frac{\tau_t}{\tau_c}\right)^{1/4}$$

Trong đó: *S_t: tốc độ màng lửa rối; A: hằng số mô hình; u': độ lệch bình phương tốc độ; $l_t = C_D \times (u')^3/\varepsilon$ (m): thang độ dài rối (m); $\tau_c = \alpha/S^2_L$ thang thời gian hóa học (s).*

2.1.6. Nhiệt độ cháy và khối lượng riêng của hỗn hợp

2.1.7. Tính chất lý hóa và phương trình cháy của nhiên liệu LPG-diesel

2.1.8. Xác định hệ số dư lượng không khí khi động cơ WL-Turbo sử dụng LPG-diesel

2.1.9. Một số chỉ tiêu đánh giá tính năng công tác của động cơ sử dụng nhiên liệu LPG-diesel

Các chỉ tiêu đánh giá tính năng công tác của động cơ gồm công suất, công chỉ thị, áp suất chỉ thị, hiệu suất có ích… Hai thông số chính là áp suất chỉ thị p_i và hiệu suất chỉ thị η_i của động cơ.

2.2. Cháy kích nổ khi động cơ dùng hai nhiên liệu LPG-diesel

2.2.1. Thời kỳ cháy trễ

SHIGA và cộng sự thiết lập thời kỳ cháy trễ:

$$\int_{t_{inj}}^{t_{ign}} \frac{dt}{t(p,T)} = \frac{1}{K_{inj}} \int_{t_{inj}}^{t_{ign}} \frac{dt}{[p(t)]^{-q} \exp[E/RT(t)]} = 1$$

Trong đó: K = 2272; q = - 1,19; E/R=4650

HEYWOOD J.B., KUBESH J. nghiên cứu thời kỳ cháy trễ phụ thuộc chỉ số octane của nhiên liệu, nhiệt độ T và áp suất p của vùng khí chưa cháy phía trước màng lửa trong buồng cháy:

$$\tau = 17{,}68 \times \left(\frac{ON}{100}\right)^{3{,}402} \times p^{-1{,}7} \times \exp\left(\frac{3800}{T}\right)$$

Với: ON, A, B, n: chỉ số octane và các thông số của nhiên liệu.

2.2.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến cháy kích nổ trong động cơ hai nhiên liệu

- Ảnh hưởng của thời điểm phun và lượng phun diesel
- Ảnh hưởng của tỷ lệ nhiên liệu thay thế trong hỗn hợp
- Ảnh hưởng của chế độ tốc độ trong động cơ hai nhiên liệu

2.3. Các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến nồng độ các chất ô nhiễm của động cơ nén cháy

2.3.1. Trường hợp động cơ dùng 100% diesel

Ở vùng hỗn hợp giàu diesel, các yếu tố làm tăng nhiệt độ sản vật cháy sẽ làm tăng nồng độ bồ hóng. Khi tăng số vòng quay làm tăng tốc độ vận động rối của không khí trong buồng cháy, do đó NO_x sẽ sinh ra nhiều hơn.

2.3.2. Trường hợp động cơ dùng LPG-diesel

LPG bay hơi dễ dàng, hòa trộn với không khí đồng đều; do đó NO_x giảm đáng kể, HC thấp và sản vật cháy không có chất độc từ chất phụ gia.

2.4. Kết luận

Quá trình cháy của hỗn hợp LPG-diesel trong buồng cháy ngăn cách thể hiện hai giai đoạn: cháy nhiên liệu diesel mồi được đặc trưng là khuếch tán, rối và không ổn định; cháy hỗn hợp LPG-không khí trong buồng cháy chính được đặc trưng là đồng nhất, rối và không ổn định. Hồi lưu khí thải làm giảm nhiệt độ cháy, do đó giảm nồng độ NO_x và sẽ hạn chế được kích nổ của động cơ dùng LPG-diesel.

Chương 3

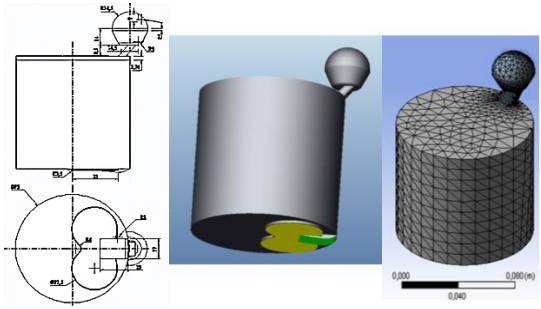
MÔ HÌNH HÓA QUÁ TRÌNH CHÁY VÀ XÁC ĐỊNH MỨC ĐỘ PHÁT Ô NHIỄM CỦA ĐỘNG CƠ WL-TURBO DÙNG LPG-DIESEL

3.1. Giới thiệu phần mềm ANSYS-Fluent

3.2. Thiết lập mô hình quá trình cháy hỗn hợp hai nhiên liệu LPG-diesel trong động cơ WL-Turbo

3.2.1. Kết cấu hình học và lưới động của buồng cháy động cơ

Mô hình buồng cháy, kích thước hình học và lưới động của động cơ WL-Turbo được trình bày ở hình 3.1.



Hình 3.1: *Kích thước hình học, kết cấu và lưới động của buồng cháy động cơ WL-Turbo*

3.2.2. Các thông số của mô hình buồng cháy

3.3. Diễn biến quá trình cháy của diesel và hỗn hợp LPG-không khí trong buồng cháy ngăn cách khi mô phỏng bằng phần mềm Fluent

3.3.1. Diễn biến quá trình cháy nhiên liệu diesel

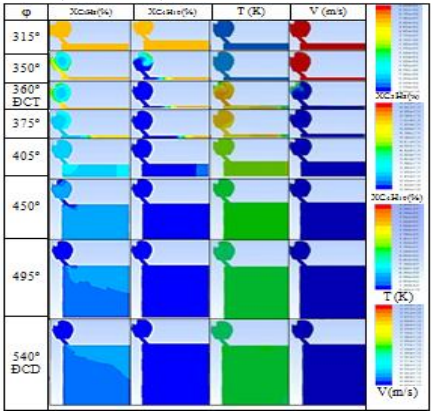
Nhiên liệu diesel được phun vào cùng hướng với dòng xoáy lốc làm cho các hạt nhiên liệu diesel nhỏ ở phần vỏ tia phun bị cuốn theo dòng hỗn hợp LPG-không khí xoáy lốc, được sấy nóng, bay hơi hòa trộn với LPG-không khí và bốc cháy.

3.3.2. Diễn biến quá trình cháy LPG

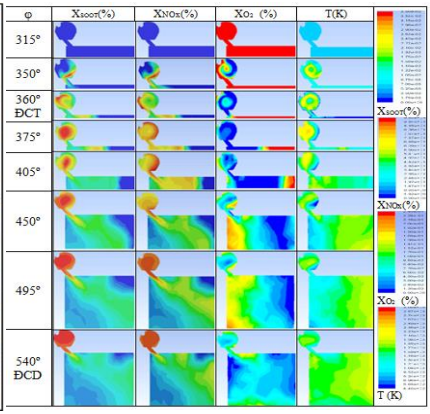
Màng lửa propane và butane lan tràn trong buồng cháy phụ đi qua đường thông vào buồng cháy chính và tiếp tục làn dần đến vị trí xa nhất trong buồng cháy (hình 3.3).

3.3.3. Diễn biến trường nồng độ bồ hóng và NOx trong buồng cháy ngăn cách

Nồng độ bồ hóng và NO_x bắt đầu hình thành khoảng 4º SĐCT và kéo dài cuối quá trình cháy. Nồng độ NO_x tăng cao ở 35º SĐCT và sau đó giảm nhanh (hình 3.4).



Hình 3.3: *Diễn biến trường nồng độ LPG, nhiệt độ và tốc độ vận động của dòng khí trong buồng cháy của động cơ dùng nhiên liệu LPG-diesel*

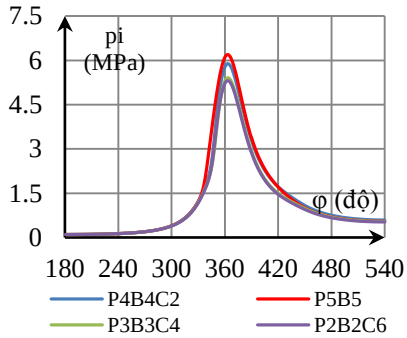


Hình 3.4: *Diễn biến của trường nồng độ bồ hóng, NOx,nồng độ oxygen và nhiệt độ môi chất của động cơ dùng nhiên liệu LPG-diesel*

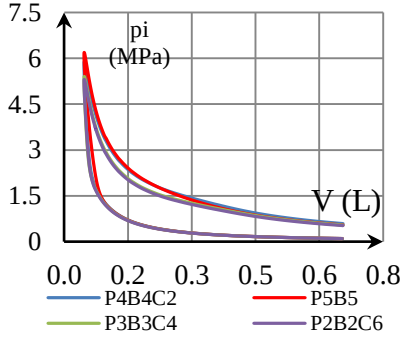
3.4. Các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến tính năng kỹ thuật của động cơ

3.4.1. Ảnh hưởng của thành phần CO_2 trong hỗn hợp

Hàm lượng CO_2 càng cao thì tốc độ cháy càng thấp và nhiệt độ cháy cũng giảm theo. Khi tăng thành phần CO_2 trong hỗn hợp thì giá trị cực đại của áp suất chỉ thị giảm (Hình 3.5 và 3.6).



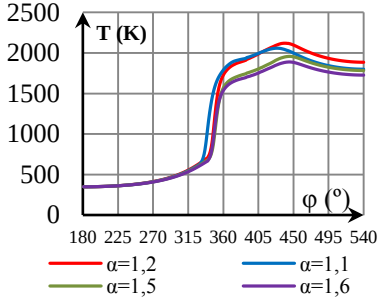
Hình 3.5: *Biến thiên áp suất chỉ thị theo thành phần CO_2*



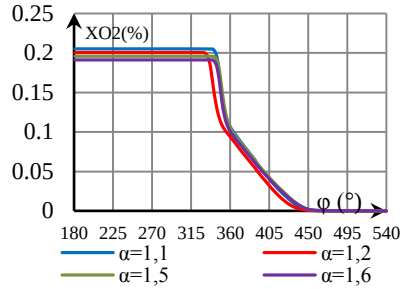
Hình 3.6: *Biến thiên công chỉ thị chu trình theo thành phần CO_2*

3.4.2. Ảnh hưởng của hệ số dư lượng không khí

Hình 3.15 và 3.16 cho thấy khi α = 1,2 giá trị cực đại của nhiệt độ trung bình môi chất trong buồng cháy lớn nhất và nồng độ chất oxy hóa giảm nhanh, do đó nhiên liệu cháy kiệt và công suất lớn nhất.



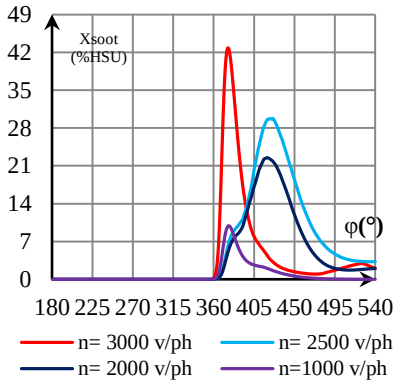
Hình 3.1: *Ảnh hưởng hệ số α đến nhiệt độ trung bình môi chất*



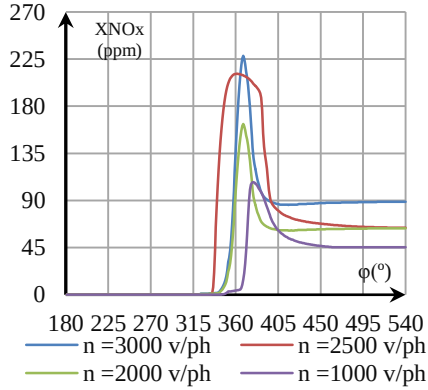
Hình 3.2: *Ảnh hưởng hệ số α đến nồng độ chất oxy hóa*

3.4.3. Ảnh hưởng của tốc độ động cơ

Khi tốc độ động cơ tăng, nhiên liệu được cung cấp vào buồng cháy càng nhiều, nhiệt độ môi chất tăng và nồng độ bồ hóng và NO_x tăng như hình 3.27 và 3.28.



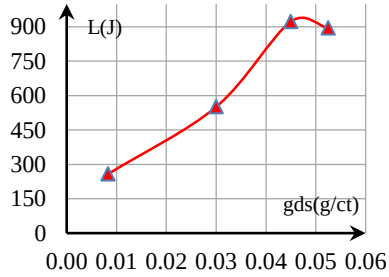
Hình 3.27: *Ảnh hưởng của tốc độ đến nồng độ bồ hóng của khí thải*



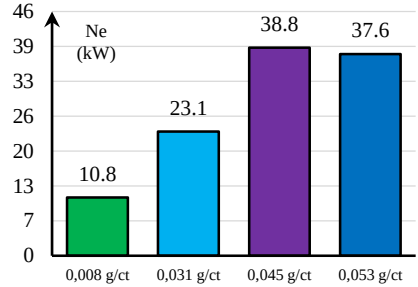
Hình 3.28: *Ảnh hưởng của tốc độ đến nồng độ NO_x của khí thải*

3.4.4. Ảnh hưởng của lưu lượng diesel phun mồi

Khi lưu lượng diesel g_{ct} = 0,045 g/ct, tại n = 2000 v/ph công suất động cơ đạt giá trị cực đại Ne = 38,8 kW. Do đó, lượng nhiên liệu diesel cấp vào buồng cháy hiệu quả là 0,045 g/ct (Hình 3.33 và 3.34).



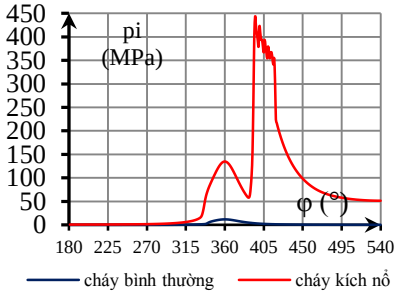
Hình 3.33: *Ảnh hưởng của lưu lượng diesel đến công chỉ thị chu trình*



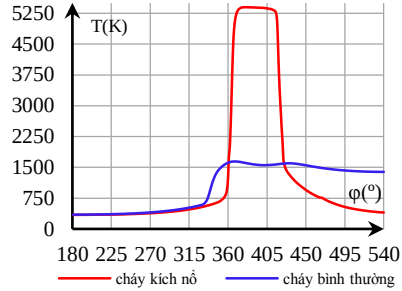
Hình 3.34: *Ảnh hưởng của lưu lượng diesel đến công suất động cơ*

3.4.5. Ảnh hưởng của cháy kích nổ

Khi động cơ bị kích nổ, áp suất chỉ thị và nhiệt độ môi chất tăng gấp nhiều lần so với động cơ hoạt động bình thường; vì vậy, cần áp dụng giải pháp hạn chế kích nổ (Hình 3.35 và 3.36).



Hình 3.35: *Áp suất chỉ thị của động cơ khi cháy kích nổ*



Hình 3.36: *Nhiệt độ trung bình môi chất khi cháy kích nổ*

3.5. Kết luận

Mô hình quá trình cháy hỗn hợp LPG-không khí đã được thiết lập dựa trên phần mềm ANSYS Fluent cho kết quả đáng tin cậy. Kết quả này giúp định hướng nghiên cứu thực nghiệm: Ở tốc độ động cơ n = 2000 v/ph lượng diesel mồi tăng, công suất động cơ tăng và ứng với g_{ct} = 0,045 g/ct công suất đạt cực đại Ne = 38,8 kW; vì vậy, lượng diesel được cấp $g_{ct} \leq 0{,}045$ g/ct. Khi hệ số α = 1,2, công suất cực đại Ne = 46,6 kW; do đó, động cơ hoạt động hiệu quả khi hệ số α = (1, 2 ÷ 1,4). Khi tăng tốc độ động cơ, công suất động cơ tăng và đạt giá trị cực đại Ne = 43 kW tại 2500 v/ph. Thành phần CO_2 tham gia vào hỗn hợp càng nhiều sẽ càng hạn chế kích nổ, nhưng công suất động cơ càng giảm.

Chương 4
XÂY DỰNG VÀ BỐ TRÍ THÍ NGHIỆM

Nghiên cứu thực nghiệm có ý nghĩa thiết thực nhằm đánh giá tính đúng đắn của nghiên cứu lý thuyết.

4.1. Mục tiêu, điều kiện, phương pháp và nội dung thực nghiệm

4.1.1. Mục tiêu thí nghiệm

4.1.2. Điều kiện thí nghiệm

4.1.3. Quy hoạch thí nghiệm

4.1.4. Nội dung thí nghiệm

Thí nghiệm đo đạc công suất, mô men, tiêu hao năng lượng và mức độ phát thải ô nhiễm ở các chế độ hoạt động của động cơ. Các điểm đo tương ứng Me =(15 ÷ 90) Nm với bước đo 15 Nm, tốc độ động cơ (1000 ÷ 3000) v/ph với bước 250 v/ph.

4.2. Bố trí thí nghiệm

Động cơ WL-Turbo thí nghiệm trên băng thử và động cơ 1KZ-TE là loại động cơ diesel truyền thống lắp trên ô tô du lịch, thông số kỹ thuật được ghi ở bảng 4.1.

Bảng 4.1:*Thông số kỹ thuật của hai động cơ WL-Turbo và 1KZ-TE*

TT	Các thông số	WL-Turbo	1KZ-TE
1	Công suất cực đại (kW/v/ph)	85/3500	96/3600
2	Mô men cực đại(Nm/v/ph)	280/2000	287/2000
3	Số vòng quay định mức (v/ph)	3500	3600
4	Tỉ số nén	19,8:1	21,2:1
5	Thể tích công tác (cm^3)	2499	2982
6	Đường kính xi lanh/Hành trình pit tông (mm)	93/92	96/103
7	Số xi lanh	4	4
8	Áp suất phun diesel (MN/cm^2)	11,6÷12,4	12,5÷13,4
9	Góc phun sớm (˚TĐCT)	10	11

Thực nghiệm động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel vận hành ở chế độ tải trên băng thử APA 204/8 nhằm đánh giá khả năng thực hiện của các giải pháp khắc phục hiện tượng kích nổ thông qua chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật và ô nhiễm khí thải của động cơ. Thí nghiệm động cơ 1KZ-TE nhằm xác định

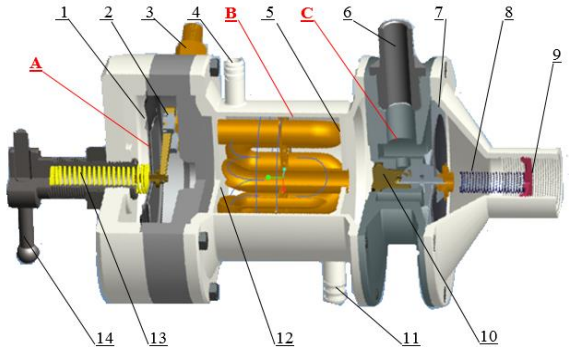
vùng không kích nổ, quan hệ giữa lưu lượng CO_2 và lưu lượng LPG khi động cơ này dùng LPG không bị kích nổ.

4.3. Thiết bị AVL dùng trong thí nghiệm

Các thiết bị AVL gồm băng thử công suất APA 204/8, thiết bị AVL – 553 điều hòa nhiệt độ nước làm mát, thiết bị AVL 554 cung cấp và điều hoà nhiệt độ dầu bôi trơn theo dõi sự biến thiên nhiệt độ của dầu bôi trơn, thiết bị AVL-733S đo tiêu hao nhiên liệu diesel, thiết bị SensyflowP đo lưu lượng không khí nạp, thiết bị đo AVL DiGas 4000 đo nồng độ các chất trong khí thải CO_2, CO, HC, O_2, NO_x. Thiết bị AVL 439 Opacimeter phân tích nồng độ bồ hóng, thiết bị AVL 513D được sử dụng quay phim quá trình cháy trong động cơ. Phần mềm EMCON được cài đặt trên máy tính kết nối hệ thống PUMA thu thập, xử lý và lưu dữ liệu thí nghiệm. Các thiết bị AVL do Cộng hòa Áo sản xuất.

4.4. Thiết bị tự chế tạo cung cấp LPG và hồi lưu khí thải dùng trong thí nghiệm

4.4.1. Bộ hóa hơi-*giảm áp*



Hình 4.4: *Bộ hóa hơi-giảm áp*

1.Màng cao su giảm áp; 2. Van nạp LPG lỏng; 3. Đầu nối với ống LPG lỏng; 4. Đầu nối nước ra; 5. Ống đồng truyền nhiệt cho LPG; 6. Đầu nối ra khí LPG thấp áp; 7. Màng cao su giảm áp; 8. Lò xo điều chỉnh áp suất khí LPG; 9. Vít điều chỉnh áp suất khí LPG; 10. Van hạ áp khí LPG; 11. Đầu nối nước vào; 12. Môi trường nước truyền nhiệt; 13. Lò xo điều chỉnh áp suất LPG lỏng; 14. Tay điều chỉnh áp suất LPG lỏng; A: khoang chứa LPG lỏng áp suất cao; B: khoang chứa nước cấp nhiệt cho LPG hóa hơi; C: khoang chứa khí LPG thấp áp.

LPG lỏng từ bình chứa đi qua van an toàn, cấp vào khoang A tại đầu nối 3, hạ áp bởi van 2 và màng cao su 1. LPG thấp áp chuyển vào khoang B (vùng hai pha lỏng-khí) nhận nhiệt truyền từ môi trường nước 65°C và hóa hơi; khí LPG tiếp tục qua van 10 giảm áp vào khoang C thấp áp. Đảm bảo chế độ làm việc của động cơ, áp suất khí LPG trước vòi phun có thể điều chỉnh được bằng cách thay đổi hệ số đàn hồi lò xo 8 nhờ vít 9 như hình 4.4.

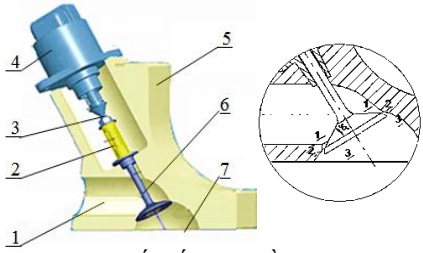
4.4.2. Vòi phun LPG

Vòi phun phun khí LPG vào đường nạp động cơ thay thế họng Venturi. Cụm chi tiết vòi phun và kim phun LPG (Hình 4.7).

Hình 4.7: *Cụm chi tiết nối ghép giữa kim phun với vòi phun LPG*

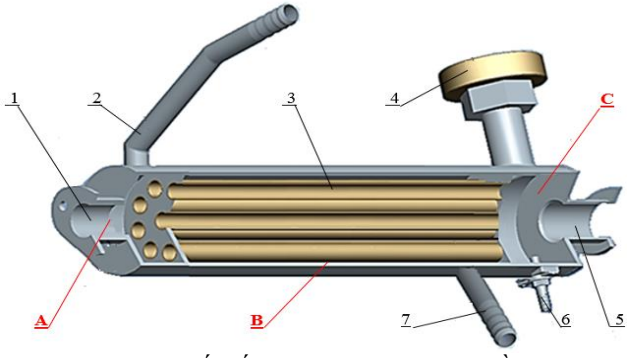
4.4.3. Van hồi lưu khí thải

Được thể hiện ở Hình 4.8.



Hình 4.8*: Kết cấu van hồi lưu khí thải*
1.Khí thải vào từ cụm làm mát; 2. Lò xo hồi vị; 3. Chốt động cơ bước; 4. Động cơ bước; 5. Thân van; 6. Chốt van m;7. Khí thải ra khỏi van

4.4.4. Bộ làm mát khí thải hồi lưu



Hình 4.9: *Kết cấu bộ làm mát khí thải hồi lưu*
1.Khí thải vào cụm làm mát; 2. Ống nước ra; 3. Ống đồng truyền nhiệt giữa khí thải và môi trường nước; 4. Đồng hồ đo nhiệt độ khí thải; 5. Khí thải ra khỏi cụm làm mát; 6. Ống nối cảm biến áp suất; 7. Ống nước vào. A. Khoang khí thải ở nhiệt độ cao; B. Khoang môi trường nước truyền nhiệt cho khí thải hồi lưu; C. Khoang chứa khí thải ở nhiệt độ xấp xỉ nhiệt độ môi trường.

Khi làm việc ở chế độ tải cao, áp suất buồng cháy tăng, nhiệt độ khí cháy tăng do hỗn hợp có nhiệt dung riêng lớn; vì vậy, khí thải cần được làm mát trước khi hồi lưu vào đường nạp (hình 4.9).

4.5. Bộ điều chỉnh cung cấp LPG-diesel và tiết lưu khí thải hồi lưu

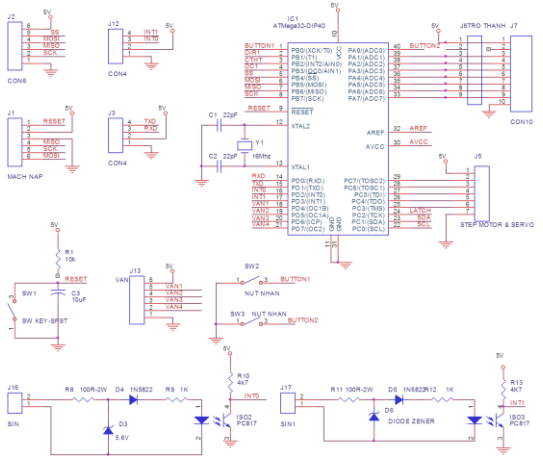
4.5.1. Nguyên lý hoạt động của bộ điều chỉnh

4.5.2. Các cảm biến sử dụng trong bộ điều chỉnh

4.5.3. Các cơ cấu chấp hành cung cấp LPG và hồi lưu khí thải

4.5.4. Mạch điện tử điều khiển lưu lượng LPG-diesel và hồi lưu khí thải

Mạch điều khiển điện tử điều khiển lưu lượng LPG-diesel bao gồm một số modun, trong đó modun điều khiển trung tâm như hình 4.31.



Hình 4.31: *Sơ đồ modun điều khiển trung tâm*

4.6. Kết luận

Bộ làm mát khí thải hồi lưu được chế tạo có khả năng hạ nhiệt độ khí thải từ 480 ºC xuống (30÷45) ºC mà không ảnh hưởng đến tình trạng vận hành của động cơ. Bộ hóa hơi-giảm áp được chế tạo có khả năng cung cấp lượng khí LPG (15÷18) kg/h đáp ứng được tất cả các chế độ thực nghiệm của động cơ với công suất 100 kW. Mạch điều khiển dùng vi xử lý ATmega32 cho phép tự động điều chỉnh bằng điện tử lưu lượng LPG theo thời gian phun, kết hợp cấp lưu lượng CO_2 đã khắc phục hiện tượng kích nổ của động cơ WL-Turbo.

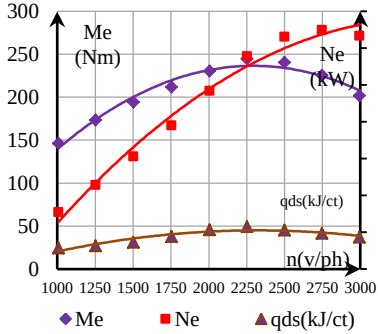
Chương 5
KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

Tổng hợp kết quả thực nghiệm của hai động cơ 1KZ-TE và WL-Turbo dùng LPG-diesel ở chế độ không tải, tải thấp (Me ≤ 90 Nm) và tải trung bình (Me ≤ 150 Nm); đồng thời đánh giá kết quả cho bởi mô phỏng và thực nghiệm khi động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel ở chế độ tải trung bình.

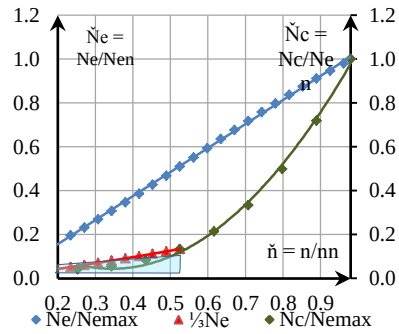
5.1. Kết quả thực nghiệm

5.1.1. Phạm vi làm việc thường xuyên của động cơ WL-Turbo khi sử dụng 100% diesel

Ở chế độ tải thấp, đường đặc tính công suất và mô men của động cơ đồng biến ứng với lượng nhiên liệu diesel g_{ct} = (0,027 ÷ 0,057) g/ct. Công suất $Ne_{LPG/ds\ max}$ = 14,7 kW (Hình 5.1 và 5.2).



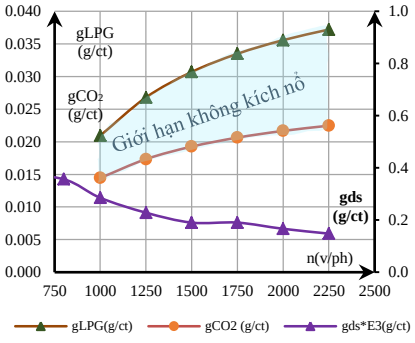
***Hình 5.1**: Đặc tính ngoài của động cơ WL-Turbo dùng 100%diesel đo trên băng thử*



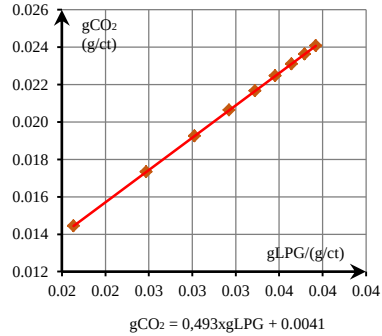
***Hình 5.2**: Phạm vi làm việc thường xuyên của động cơ WL-Turbo trên ô tô*

5.1.2. Vận hành ở chế độ không tải (thí nghiệm trên động cơ 1KZ-TE dùng LPG-diesel áp dụng giải pháp bổ sung CO_2)

Mục đích thí nghiệm này là xác định vùng không kích nổ khi tăng lượng CO_2 cấp vào động cơ 1KZ-TE dùng LPG-diesel. Các giá trị giới hạn trên của LPG và giới hạn dưới của CO_2 đo đạc theo tốc độ động cơ thể hiện vùng không kích nổ như Hình 5.8. Thực nghiệm cho thấy khi lưu lượng CO_2 tỷ lệ với LPG $gct_{CO_2} = 0{,}493 \times gct_{LPG} + 0{,}004$ thì động cơ không bị kích nổ (Hình 5.8).



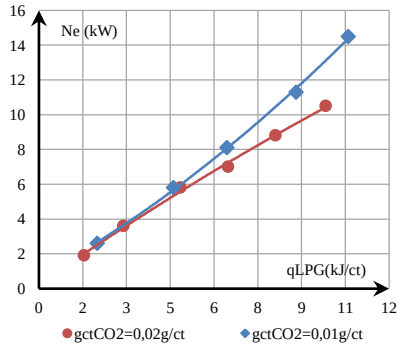
Hình 5.8: *Giới hạn không kích nổ khi động cơ 1KZ-TE dùng LPG-diesel, bổ sung CO_2*



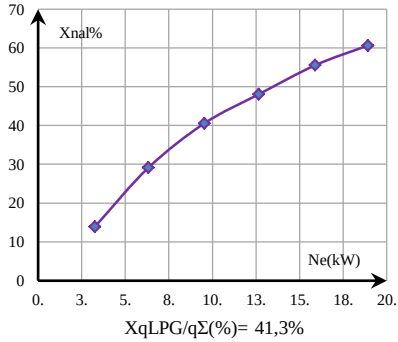
Hình 5.9*: Biến thiên lưu lượng CO_2 theo lượng nhiên liệu LPG*

5.1.3. Vận hành chế độ tải thấp của động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel khi áp dụng các giải pháp hạn chế kích nổ

Khi chưa áp dụng giải pháp hạn chế kích nổ, tỷ lệ năng lượng LPG thay thế diesel X_{nal}% = 9,9%. Hình 5.14 thể hiện khi tăng lượng g_{CO2} = (0,01 ÷ 0,02) g/ct vào đường nạp, với năng lượng diesel mồi q_{ds} = 1,383 kJ/ct thì công suất động cơ giảm 11,2%.



Hình 5.14*: Công suất và mô men động cơ khi tăng lượng CO_2*



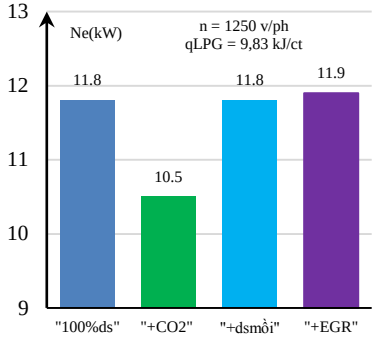
Hình 5.15: *Tỷ lệ năng lượng thay thế LPG/(LPG+diesel) ở chế độ tải thấp*

Tỷ lệ năng lượng LPG thay thế diesel khi bổ sung CO_2 ở chế độ tải thấp được trình bày ở hình 5.15 và Bảng 5.2.

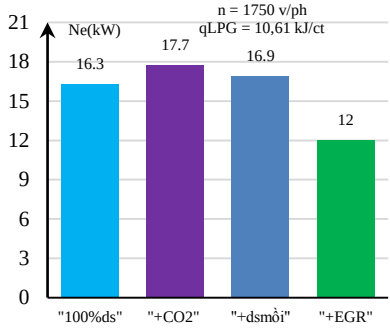
Bảng 5.2*: Tỷ lệ năng lượng LPG thay thế diesel khi bổ sung CO_2 ở chế độ tải thấp*

Ne (kW)	3,3	6,3	9,5	12,7	15,9	18,9	TBΣ(%)
X_{nal}%	13,89	29,14	40,57	48,04	55,54	60,63	41,3

Hình 5.26 và 5.27 cho thấy ở chế độ tải thấp, nếu cấp thêm LPG với năng lượng q_{LPG} = 9,83 kJ/ct thì giải pháp hồi lưu khí thải cho công suất cao nhất 11,9 kW (tăng 0,8% so với dùng 100% diesel) và giải pháp tăng diesel mồi cho công suất cao nhất 17,7 kW.

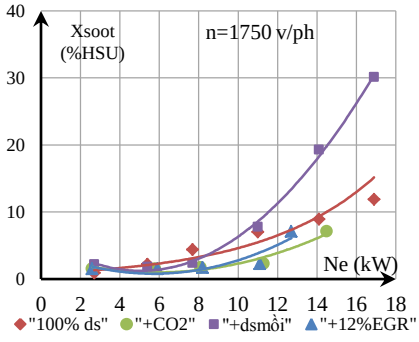


Hình 5.26: *Công suất động cơ theo các giải pháp hạn chế kích nổ, n=1250 v/ph*

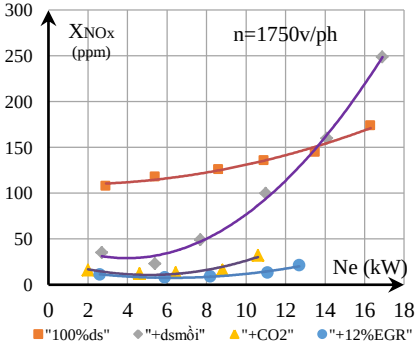


Hình 5.27: *Công suất động cơ theo các giải pháp hạn chế kích nổ, n=1750 v/ph*

Ở tốc độ 1250 v/ph, khi hồi lưu khí thải nồng độ NO_x giảm 91,5% và khi bổ sung CO_2, NO_x giảm 84%. Tuy nhiên ở tốc độ 1750 v/ph, khi hồi lưu 12% EGR nồng độ NO_x giảm 87%; khi cấp CO_2 trên đường nạp NO_x giảm 84% và khi tăng diesel mồi, NO_x giảm 28,7% như hình 5.30 và 5.31.



Hình 5.30: *Nồng độ bồ hóng theo công suất động cơ khi hạn chế kích nổ ở 1750 v/ph*



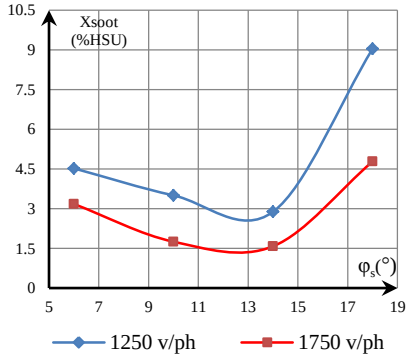
Hình 5.31: *Nồng độ NO_x theo công suất động cơ khi hạn chế kích nổ ở 1750 v/ph*

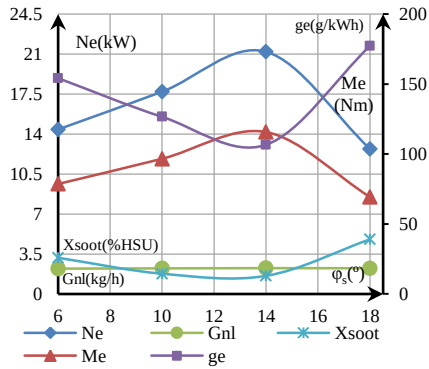
Việc kết hợp cung cấp LPG, CO_2 và điều chỉnh lượng hồi lưu khí thải bằng bộ điều khiển điện tử trên động cơ WL-turbo cho thấy nồng độ NO_x đã giảm đáng kể và nồng độ bồ hóng không tăng. Tuy nhiên, nếu so sánh

nồng độ cả bồ hóng và NO_x trong khí thải thì hồi lưu khí thải là giải pháp hiệu quả nhất đối với động cơ này chạy LPG-diesel.

5.1.4. Điều chỉnh góc phun sớm khi vận hành chế độ tải thấp (thí nghiệm trên động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel)

Hình 5.38 và 5.39 cho thấy trong thí nghiệm này ở điều kiện giữ nguyên lượng diesel $g_{ct} \approx 0{,}043$ g/ct ($G_{nl} \approx 2{,}2$ kg/h), suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất, công suất và mô men đạt giá trị lớn nhất; đặc biệt nồng độ bồ hóng có giá trị thấp nhất tại góc 13º30'. Góc 13º30' là góc phun sớm tối ưu.





***Hình 5.38**: Nồng độ bồ hóng theo góc điều chỉnh phun sớm ở n=1250 v/ph và n=1750 v/ph*

***Hình 5.39**: Đặc tính điều chỉnh góc phun sớm*

5.1.5. Vận hành chế độ tải trung bình của động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel

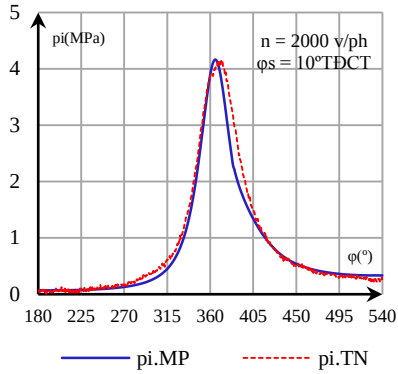
5.1.6. Thí nghiệm phối hợp các giải pháp hạn chế kích nổ

5.2. Đánh giá kết quả động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel ở chế độ tải trung bình cho bởi mô phỏng và thực nghiệm

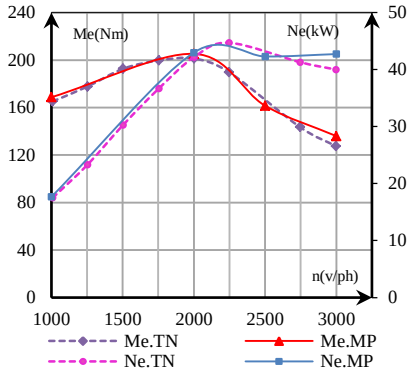
5.2.1. Về áp suất chỉ thị của động cơ WL-Turbo

5.2.2. Về công suất và mô men của động cơ WL-Turbo

Ứng với lượng LPG $g_{LPG} = 0{,}036$ g/ct, diesel $g_{ds} = 0{,}037$ g/ct và CO_2 $g_{CO2} = 0{,}022$ g/ct, đồ thị áp suất chỉ thị của động cơ phù hợp với lý thuyết và sai lệch là 0,15% so với thực nghiệm (Hình 5.46). Kết quả cho bởi mô phỏng sai lệch công suất lớn 2,7% và sai lệch mô men 2,9% so với thực nghiệm (Hình 5.48).



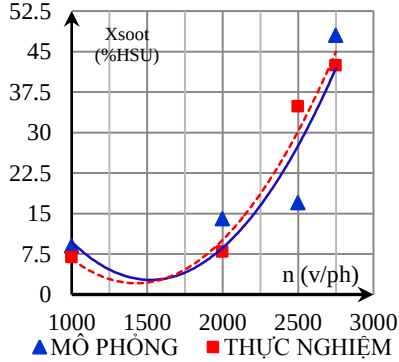
***Hình 5.46**: Áp suất chỉ thị của động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel, cho bởi mô phỏng và thực nghiệm*



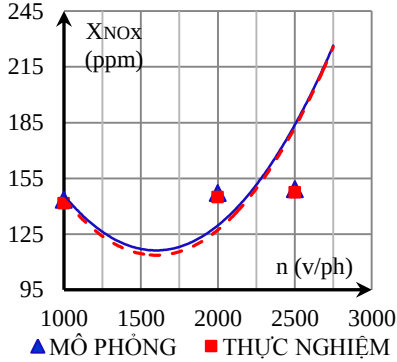
***Hình 5.48**: Công suất và mô men của động cơ WL-Turbo cho bởi mô phỏng và thực nghiệm*

5.2.3. Về nồng độ bồ hóng và NO_x của động cơ WL-Turbo

Theo tính toán mô phỏng so với thực nghiệm, nồng độ bồ hóng sai lệch 7,8% và nồng độ NO_x sai lệch 3,5% (Hình 5.49 và 5.50).



***Hình 5.49**: Nồng độ bồ hóng của động cơ dùng LPG-diesel bổ sung CO_2 cho bởi mô phỏng và thực nghiệm*



***Hình 5.50**: Nồng độ NO_x của động cơ dùng LPG-diesel bổ sung CO_2 cho bởi mô phỏng và thực nghiệm*

5.3. Kết luận

Các kết quả tính toán mô phỏng trong mọi trường hợp sai lệch nhỏ hơn 8% đã khẳng định phương pháp mô hình hóa bằng ANSYS Fluent rất hữu hiệu và có khả năng cung cấp kết quả đáng tin cậy.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu động cơ sử dụng hai nhiên liệu LPG-diesel phục vụ phương tiện giao thông vừa giải quyết vấn đề hạn chế ô nhiễm, vừa bảo đảm an ninh năng lượng, có ý nghĩa thời sự và thực tiễn ở nước ta cũng như trên thế giới. Giải pháp chuyển đổi động cơ diesel truyền thống thành động cơ LPG-diesel cho phép tận dụng được lợi thế hiệu suất cao, khả năng tạo công suất lớn, các ưu điểm khác của động cơ diesel, đồng thời giảm thiểu ONMT. Do kết cấu động cơ không thay đổi nên thuận tiện trong việc sử dụng hệ thống nhiên liệu diesel nguyên thủy.

Kết luận của luận án

Luận án đã xây dựng thành công mô hình tính toán quá trình cháy nhiên liệu LPG-diesel trên động cơ WL-Turbo có buồng cháy ngăn cách dựa trên nền phần mềm ANSYS Fluent với mô hình rối k-ε tiêu chuẩn, mô hình cháy hòa trộn trước cục bộ, mô hình tia phun diesel nhằm xác định các thông số của quá trình cháy, nghiên cứu tính năng công tác và mức độ phát ô nhiễm của động cơ.

Phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, mô hình quá trình cháy hai nhiên liệu LPG-diesel trong buồng cháy ngăn cách trên nền phần mềm Fluent và thực nghiệm kiểm chứng trên băng thử APA 204/8 là giải pháp nghiên cứu phù hợp hiện nay.

Bộ điều chỉnh cung cấp LPG, nhiên liệu diesel và hồi lưu khí thải đã thiết kế và chế tạo thành công. Bộ điều chỉnh này sử dụng vi điều khiển ATmega32 kết hợp với các cảm biến và cơ cấu chấp hành gắn trên động cơ giúp hệ thống phun LPG kiểm soát được hỗn hợp LPG-không khí theo tỷ lệ hợp lý $\alpha \approx 1,2$; đồng thời điều chỉnh được lượng phun diesel và tiết lưu lượng khí thải hồi lưu vào buồng cháy. Nhờ kết hợp sử dụng các thiết bị dụng cụ đo hiện đại nên kết quả thực nghiệm thu được đáng tin cậy.

Kết quả nghiên cứu của luận án cho phép rút ra những kết luận:

1/ Động cơ WL-Turbo và động cơ 1KZ-TE sử dụng LPG-diesel hoàn toàn có khả năng thực hiện khi áp dụng giải pháp hạn chế kích nổ và các thành phần khí thải độc hại được cải thiện. Cụ thể:

a) Ở chế độ tải trung bình, khi động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel tỷ lệ năng lượng LPG thay thế diesel là $X_{nal}\%$ = 40,9%., bồ hóng giảm 16,4 % và nồng độ NO_x giảm 48 % và công suất giảm 11 % so với động cơ dùng 100 % diesel ở cùng chế độ vận hành.

b) Ở chế độ tải thấp, động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel, tỷ lệ năng lượng LPG thay thế diesel là $X_{nal}\%$ = 41,3%.:

- Khi tăng lượng diesel, nồng độ khí thải và công suất động cơ tăng so với động cơ dùng 100 % diesel.

- Ứng với tỷ lệ khí thải hồi lưu 12 % EGR vào đường nạp, nồng độ bồ hóng giảm 13,9 % và nồng độ NO_x giảm 51 %; nhưng công suất giảm 13,7 %.

- Khi bổ sung CO_2 vào đường nạp, công suất giảm 10,3 %, mô men giảm 5,3 % so với động cơ dùng 100 % diesel, nồng độ NOx giảm 84 %.

- Xác định được góc điều chỉnh phun sớm tối ưu 13°30’ TĐCT (tăng 3°30’ so với góc phun nguyên thủy) mà tại vị trí góc này nồng độ bồ hóng thấp nhất, công suất động cơ lớn nhất, suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất khi động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel.

c) Ở chế độ không tải khi động cơ 1KZ-TE không bị kích nổ, lưu lượng CO_2 cung cấp vào buồng cháy theo LPG là $G_{CO_2} = 0{,}49 \times G_{LPG} + 0{,}004$. Phạm vi tốc độ hoạt động của động cơ đã mở rộng đến 1750 v/ph (khi bổ sung CO_2) và đến 3000 v/ph (khi kết hợp bổ sung CO_2 và tăng nhiên liệu diesel mồi).

2/ Đánh giá kết quả động cơ WL-Turbo sử dụng LPG-diesel cho bởi mô phỏng và thực nghiệm

a) Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy áp suất chỉ thị xấp xỉ áp suất buồng cháy của động cơ WL-Turbo dùng LPG-diesel ở cùng điều kiện thí nghiệm và sai lệch 0,15 % so với thực nghiệm.

b) Đặc tính công suất và mô men của động cơ mô phỏng phù hợp với lý thuyết. Sai lệch công suất và mô men cho bởi mô phỏng ≤ 3 % so với thực nghiệm.

c) Nồng độ bồ hóng cho bởi mô phỏng sai lệch < 8 % và NO_x sai lệch < 4 % so với thực nghiệm.

3/ Các kết quả tính toán mô phỏng trong luận án sai lệch nhỏ hơn 8 % so với thực nghiệm trong mọi trường hợp đã khẳng định việc nghiên cứu quá trình cháy của động cơ bằng phương pháp mô hình bằng phần mềm Fluent rất hữu hiệu và có khả năng cung cấp kết quả số liệu tin cậy.

Kiến nghị về những nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu sử dụng bộ điều chỉnh phun LPG-diesel kết hợp hồi lưu khí thải và tăng lượng nhiên liệu diesel trên các động cơ nén cháy khác để đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật và mức độ phát thải ô nhiễm của ô tô khi tham gia giao thông.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

[1]. **Nguyễn Văn Phụng,** Trần Thanh Hải Tùng (2009), Nghiên cứu thiết kế bộ điều chỉnh cung cấp LPG qua họng Venturi. Đề tài Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng. Mã số: SĐH 09-01-04-NCS.

[2]. **Nguyễn Văn Phụng,** Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng (2010), Nghiên cứu chế tạo hệ thống hồi lưu khí thải cho động cơ diesel sử dụng hai nhiên liệu (LPG/diesel), Đề tài Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng. Mã số: SĐH 10-01-13-NCS.

[3]. Trần Văn Nam, **Nguyễn Văn Phụng** (2014), Nghiên cứu giảm kích nổ trên động cơ nén cháy sử dụng LPG-diesel. Đề tài khoa học và Công nghệ cấp cơ sở, Đại học Đà Nẵng. Mã số: Đ2013-01-16-BS.

[4]. Trần Thanh Hải Tùng, **Nguyễn Văn Phụng** (2009), "Ứng dụng vi điều khiển vào bộ điều chỉnh tự động cung cấp LPG cho động cơ đánh lửa cưỡng bức", Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, 1(30), tr. 31-37.

[5]. Trần Thanh Hải Tùng, Trần Văn Nam, **Nguyễn Văn Phụng** (2010), "Kích nổ trong động cơ nén cháy sử dụng nhiên liệu khí", Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, 4(39), tr. 343-350.

[6]. Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng, **Nguyễn Văn Phụng** (2011), "Nghiên cứu chế tạo hệ thống phun LPG trên đường nạp của động cơ nén cháy", Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc năm 2011, tr. 343-350.

[7]. Tran Van Nam, Tran Thanh Hai Tung, **Nguyen Van Phung** (2012), "Experimental study of various effects of pilot diesel fuel on compression ignition engine using liquefied petroleum gas", The second International Conference on Engineering Mechanics and Automation (ICEMA2), Hanoi, August 16, 2012, pp. 132-140.

[8]. Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng, **Nguyễn Văn Phụng** (2012), "Nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển phun LPG và CO_2 trên đường nạp của động cơ nén cháy", Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc năm 2012, tr. 481-491.

[9]. Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng, **Nguyễn Văn Phụng** (2014), "Nghiên cứu ứng dụng hồi lưu khí thải trên đường nạp của động cơ nén cháy sử dụng LPG-diesel", Đã báo cáo tại Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc năm 2014, Ninh Thuận, ngày 24÷25/7/2014.