

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI TỶ SỐ NÉN ĐẾN QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ TẠI CHẾ ĐỘ TẢI THÀNH PHẦN

THE EFFECT OF COMPRESSION RATIO ON THE ENGINE PERFORMANCE AT PART LOAD CONDITION

Nguyễn Xuân Khoa^{1,*},
Phạm Văn Tú², Nguyễn Trung Kiên¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.053>

TÓM TẮT

Bài báo tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số nén tới hiệu suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ tại chế độ toàn tải. Kết quả cho thấy rằng khi tỷ số nén thay đổi từ 9,5 đến 13,4, áp suất trong buồng đốt cũng gia tăng, sự gia tăng áp suất giúp cải thiện quá trình đốt cháy và tăng công suất động cơ. Sự gia tăng nhiệt độ cực đại trong buồng đốt dẫn tới hiện tượng kích nổ của động cơ. Kết quả nghiên cứu cho thấy với tỷ số nén là 12,5, động cơ có thể tạo ra công suất và suất tiêu hao nhiên liệu tối ưu. Tuy nhiên, việc điều chỉnh tỷ số nén cần sự cân nhắc tỉ mỉ để đảm bảo hiệu suất tối đa và an toàn hoạt động của động cơ trong quá trình hoạt động.

Từ khóa: Tỷ số nén, suất tiêu hao nhiên liệu, công suất, mô hình mô phỏng.

ABSTRACT

The article focuses on studying the effects of changing the compression ratio on the performance and fuel consumption of the engine at full load. The results show that when the compression ratio changes from 9.5 to 13.4, the pressure in the combustion chamber also increases. The increase in pressure helps improve the combustion process and increase engine power. The increase in maximum temperature in the combustion chamber leads to the detonation of the engine. Research results show that with a compression ratio of 12.5, the engine can produce optimal power and fuel consumption. However, adjusting the compression ratio requires meticulous consideration to ensure maximum performance and safe operation of the engine during operation.

Keywords: Compression ratio, fuel consumption, power, simulation model.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cao đẳng Công nghệ cao Hà Nội

*Email: nguyentuankhoabk@gmail.com

Ngày nhận bài: 23/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 21/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nghiên cứu và phát triển động cơ, việc tối ưu hóa các yếu tố quan trọng như tỷ số nén đóng vai trò then chốt.

Tỷ số nén tác động trực tiếp đến hiệu suất và tiêu thụ nhiên liệu của động cơ. Những thay đổi trong tỷ số nén có thể mang lại các hiệu ứng đáng kể đối với hoạt động và hiệu suất của động cơ. Tuy nhiên, việc điều chỉnh tỷ số nén đồng thời đòi hỏi sự cân nhắc tỉ mỉ để đảm bảo sự cân bằng giữa hiệu suất tối ưu và đáng tin cậy trong hoạt động của động cơ. Đã có rất nhiều nghiên cứu về tỷ số nén với nhiều cách thức tiếp cận khác nhau.

Nghiên cứu của Shivapuji và cộng sự về tỷ số nén tới hạn của nhiên liệu khí thay thế [1], phát triển một mô hình động cơ gần giống thực tế và sự điều chỉnh của nó cho cấu hình CFR để đánh giá chỉ số metan của hỗn hợp nhiên liệu khí. Mô hình ngẫu nhiên dựa trên khái niệm về vấn đề về truyền năng và đốt cháy nhẹ trong động cơ hỗn loạn, áp dụng cơ chế phản ứng hoàn toàn với cơ chế phản ứng chi tiết trong vùng hỗn hợp chưa đốt cháy cho hiện tượng tự động châm lửa. Mô hình được phát triển được sử dụng để đánh giá chỉ số metan của tám thành phần khí tổng hợp khác nhau. Phân tích sơ bộ cho thấy mô hình có xu hướng dự đoán quá cao CR cần thiết mức $1 \pm 0,5$, với sự dự đoán quá cao được quy cho các khía cạnh như dòng chảy xoáy, truyền nhiệt, sự truyền dẫn của đám cháy... Việc nới lỏng giới hạn đám cháy ra khỏi tầm tay 2° góc vòng kính cải thiện dự đoán CR cần thiết tới mức $0,75 \pm 0,25$. Chỉ số metan ước tính vẫn nằm trong khoảng 5 đơn vị so với kết quả thực nghiệm, khẳng định khả năng của mô hình đề nghị trong việc đánh giá chỉ số kêu gọi của nhiên liệu khí.

Nghiên cứu của Ashok Kumar và cộng sự về hiệu suất động cơ đốt cháy trong động cơ diesel bằng mạng nơ-ron nhân tạo [2]. Tỷ số nén dao động từ 14:1 đến 18:1 và mô-men xoắn dao động từ 0 đến 22Nm đã được đặt làm tham số đầu vào cho mô phỏng hiệu suất động cơ. Mô hình ANN ước tính các yếu tố hiệu suất khác nhau của động cơ diesel VCR từ dữ liệu thử nghiệm đã cung cấp kết quả thống kê tốt với các hệ số hồi quy nằm trong khoảng từ 0,99698 đến 0,99739. Kết quả cho thấy rõ ràng rằng kết quả dự đoán và kết quả thực nghiệm có sự tương đồng tốt với nhau, với bằng chứng cho

thấy sai số tương đối trung bình là dưới 0,002%. Do mức độ tương đồng cao, phương pháp đề xuất có thể được mở rộng cho bất kỳ loại động cơ đốt trong để phân tích hiệu suất.

Nghiên cứu của Bedon và nhóm về mô phỏng chu trình lái thử 0D, dựa trên một phương tiện phân khúc M, được thực hiện trên chu kỳ homologation NEDC và WLTC [3]. Hai loại nhiên liệu cơ bản (Xăng không chứa oxy có chỉ số octan RON 91 và nhiên liệu dựa trên naphtha có chỉ số octan RON 71) và bốn chất cải thiện chỉ số octan (etanol RON 108, Reformate RON 111, DIB RON104, và SuperbutolTM RON 107) được xem xét. Ngoài ra, ba cấu hình động cơ khác nhau được đánh giá (tỷ số nén 7,5; 10,5 và 12), dẫn đến tổng cộng 24 cấu hình nhiên liệu/động cơ được thử nghiệm. Kết quả mô phỏng cho thấy lượng khí thải CO₂ từ ống xả được giảm thiểu khi hoạt động với tỷ số nén động cơ 10,5 (lượng CO₂ thải ra rất gần với tỷ số nén 12), bất kể hỗn hợp nhiên liệu nào. Với cấu hình tối ưu [tỷ số nén 10,5; nhiên liệu cơ bản dựa trên naphtha có chỉ số octan RON 71; etanol là chất cải thiện chỉ số octan], khái niệm OOD mang lại lợi ích CO₂ lên đến 4,5% trên cả hai chu kỳ lái thử so với trường hợp tham chiếu với E5 và 76% theo thể tích của nhiên liệu RON71 ít.

Bài báo này tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số nén đến quá trình làm việc của động cơ tại chế độ tải thành phần. Các kết quả nhằm cung cấp một cái nhìn rõ ràng về tác động của việc điều chỉnh tỷ số nén đối với hiệu suất và tiêu thụ nhiên liệu của động cơ, từ đó cung cấp hướng dẫn quan trọng cho việc tối ưu hóa thiết kế và vận hành của các động cơ tương tự.

2. ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ SỐ NÉN TỚI CÁC QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ

Công suất có ích N_e [4]:

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30\tau} = \frac{p_e \cdot V_c \cdot (\epsilon - 1) \cdot i \cdot n}{30\tau}$$

Trong đó: p_e - Áp suất có ích trung bình.

Hiệu suất có ích η_e:

$$\eta_e = \frac{N_e}{G_{nl} \cdot Q_{tk}} = \frac{\frac{p_e \cdot V_c \cdot (\epsilon - 1) \cdot i \cdot n}{30\tau}}{G_{nl} \cdot Q_{tk}} = \frac{p_e \cdot V_c \cdot (\epsilon - 1) \cdot i \cdot n}{30\tau \cdot G_{nl} \cdot Q_{tk}}$$

Trong đó:

G_{nl} - lượng nhiên liệu tiêu hao trong 1 giây;

Q_{tk} - nhiệt trị thấp của 1kg nhiên liệu.

Hiệu suất chỉ thị η_i:

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}$$

Trong đó:

η_m = $\frac{N_e}{N_i}$ - Hiệu suất cơ giới.

Công thức tính hiệu suất nhiệt η_t:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

Ta thấy rằng hiệu suất nhiệt η_t của chu trình đẳng tích chỉ phụ thuộc vào tỷ số nén ε và chỉ số đoạn nhiệt k của môi chất [5].

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG CƠ TRÊN AVL – BOOST

3.1. Đối tượng mô phỏng

Bảng 1. Các thông số cơ bản của động cơ thử nghiệm

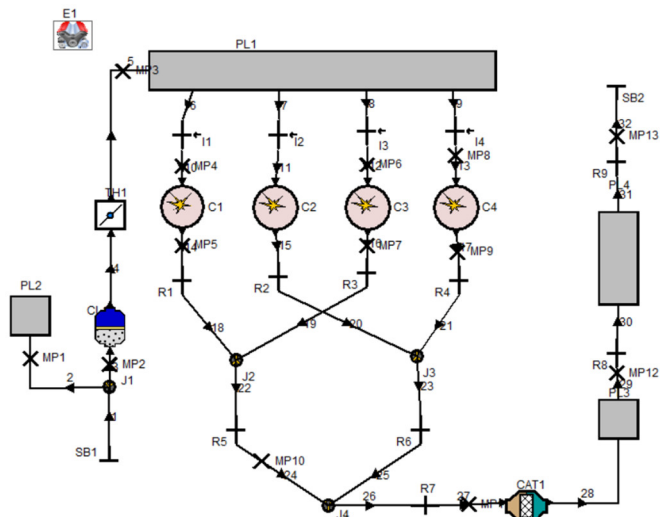
Thông số động cơ	Giá trị
Đường kính xylanh	75 (mm)
Hành trình pittong	84,7 (mm)
Tỷ số nén	10,5
Chiều dài thanh truyền	174,5 (mm)
Số xylanh	4
Độ lệch tâm chốt pittong	0 (mm)
Dung tích động cơ	1497 (cc)
Góc mở sớm của xupap nạp	72 BTDC (deg)
Góc đóng muộn xupap nạp	18 ABDC (deg)
Góc mở sớm của xupap xả	246 BBDC (deg)
Góc đóng muộn xupap xả	30 ATDC (deg)
Diện tích bề mặt pittong	5809 (mm ²)
Diện tích bề mặt xylanh	7550 (mm ²)
Số hành trình	4

Động cơ nghiên cứu trong trường hợp này là động cơ xăng 4 xi lanh, 4 kỳ, không tăng áp, sử dụng hệ thống làm mát bằng không khí và có các thông số kỹ thuật như trong bảng 1.

3.2. Mô hình mô phỏng

Ngày nay các phần mềm mô phỏng được biết đến như một công cụ hữu ích giúp các nhà nghiên cứu giải quyết vấn đề tối ưu hóa kết cấu một cách hiệu quả, một số phần mềm được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực kỹ thuật như: CATIA, ANSYS Workbench, Hyperworks, AVL, Optistruct [6-10]. Mô hình mô phỏng động cơ (hình 1) được xây dựng dựa trên phần mềm AVL boost. Mô hình mô phỏng này thể hiện đầy đủ các thành phần tương ứng của động cơ thử nghiệm, cụ thể như sau: xylanh, động cơ, bộ lọc khí, bộ xúc tác, vòi phun, đường ống nạp và xả... Mô hình này được thiết kế để nghiên cứu các tương tác phức tạp giữa các thành phần và hiệu suất hoạt động của hệ thống. Với 14 điểm tính toán được đặt, mô hình có khả năng thu thập dữ liệu chính xác về áp suất, nhiệt độ và các thông số quan trọng khác. Ngoài ra, mô hình này còn có thể được sử dụng cho các nghiên cứu sâu hơn về động cơ, giúp tối ưu hóa hiệu suất và tiết kiệm nhiên liệu trong ngành công nghiệp ô tô và cơ khí.

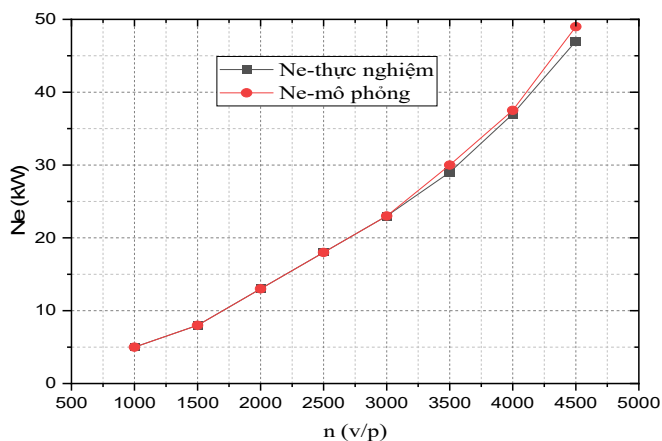
Mô hình được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số nén đến quá trình làm việc của động cơ tại chế độ toàn tải. Điều kiện mô phỏng của động cơ được tiến hành ở dải tốc độ động cơ 1000 - 2000 vòng/phút, tỷ số nén của động cơ được thay đổi trong dải 9,5 - 13, tỷ số không khí/nhiên liệu và nhiệt độ của không khí nạp trong suốt quá trình thí nghiệm được giữ ở mức 13,6 và 29,5 - 30°C. Trong quá trình hoạt động của động cơ, nhiệt độ dầu được duy trì ở mức 80°C và động cơ được làm mát bằng nước. Bộ điều khiển kim phun được sử dụng để duy trì tỷ lệ không khí-nhiên liệu là 13,6. Độ mở bướm ga được mở hoàn toàn ở mỗi chế độ mô phỏng.



Hình 1. Sơ đồ mô hình động cơ

3.3. Đánh giá tính chính xác của mô hình mô phỏng

Để xác nhận độ tin cậy của mô hình mô phỏng, kết quả mô phỏng được so sánh với kết quả thực nghiệm như thể hiện trong hình 2. Đường cong màu đen mô tả kết quả thí nghiệm; đường cong màu đỏ mô tả kết quả mô phỏng. Hình 2 thể hiện sự so sánh giữa kết quả thử nghiệm và kết quả mô phỏng về công suất động cơ. Sự khác biệt lớn nhất giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm là 1,22% ở tốc độ 4500 vòng/phút. Giá trị sai khác giữa mô hình mô phỏng và thực nghiệm có thể chấp nhận được vì giá trị thực nghiệm là giá trị trung bình của các lần đo kết quả thí nghiệm. Theo kết quả trên có thể thấy mô hình mô phỏng có đủ độ tin cậy để sử dụng trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số nén đến quá trình làm việc của động cơ tại chế độ tải thành phần.



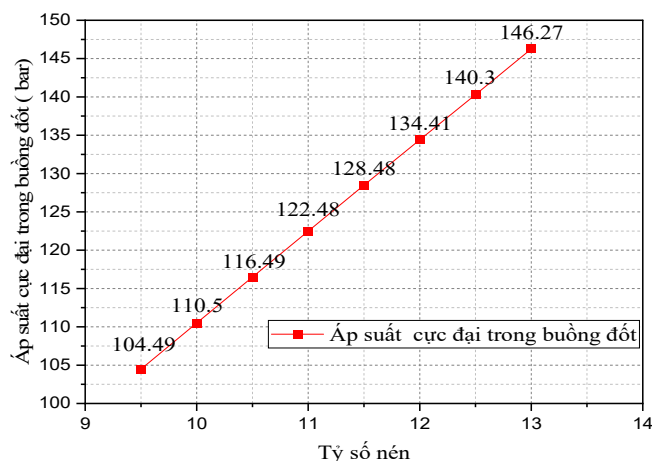
Hình 2. So sánh kết quả mô phỏng công suất động cơ

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ số nén đến các thông số quan trọng của động cơ như: áp suất cực đại trong buồng đốt, nhiệt độ cực đại trong buồng đốt, mức tiêu hao nhiên liệu, công suất có ích của động cơ. Kết quả cho thấy sự biến đổi đáng kể trong các thông số đầu ra của động cơ khi tỷ số nén thay đổi. Điều này

đề cao tiềm năng tối ưu hóa hiệu suất của động cơ ở chế độ tải thành phần thông qua việc điều chỉnh tỷ số nén.

Hình 3 thể hiện ảnh hưởng tỷ số nén đến áp suất cực đại trong buồng đốt. Từ đồ thị ta có thể thấy tỷ số nén có ảnh hưởng lớn tới áp suất cháy của động cơ, áp suất của buồng cháy tăng theo sự gia tăng của tỷ số nén. Khi tỷ số nén tăng từ 9,5 đến 13 thì áp suất cực đại trong buồng đốt tăng từ 105 đến 146bar. Điều này có thể giải thích rằng, khi tỷ số nén tăng làm tăng mật độ của hỗn hợp không khí và nhiên liệu, giúp cho quá trình hòa trộn nhiên liệu và không khí được tốt hơn, đây là yếu tố giúp cải thiện tốc độ và hiệu quả của quá trình đốt cháy giúp cho áp suất trong buồng đốt được tăng lên. Ở chiều ngược lại khi giảm tỷ số nén thì tốc độ cháy giảm xuống, sự lốc xoáy giảm làm độ hòa trộn nhiên liệu và không khí giảm xuống, tất cả các yếu tố trên dẫn tới sự suy giảm của áp suất cực đại trong buồng cháy. Việc tăng áp suất cực đại trong buồng đốt giúp động cơ cải thiện công suất và mô men tuy nhiên, cần lưu ý rằng áp suất quá cao có thể dẫn đến tình trạng "kích nổ" (knocking) và có thể gây hỏng các bộ phận bên trong động cơ. Do đó, sự điều chỉnh phù hợp của tỷ số nén phù hợp với chế độ làm việc của động cơ để đảm bảo độ an toàn và hiệu quả.

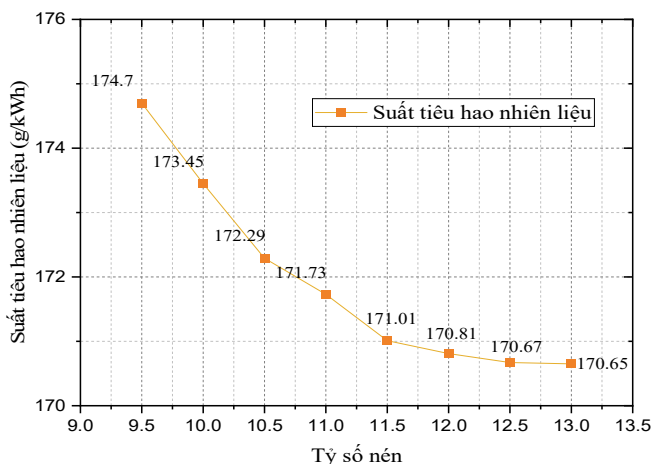


Hình 3. Sự thay đổi của áp suất cực đại trong buồng đốt

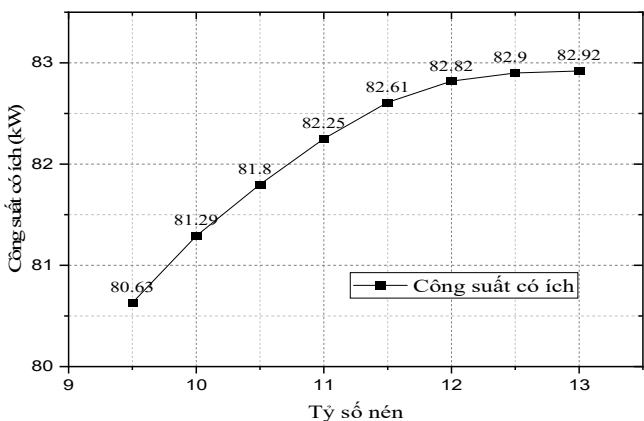
Hình 4 thể hiện ảnh hưởng của tỷ số nén đến suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ. Kết quả nghiên cứu cho thấy bằng việc tăng tỷ số nén sẽ giúp giảm suất tiêu hao nhiên liệu cho động cơ. Khi tỷ số nén tăng từ 9,5 đến 13 thì suất tiêu hao nhiên liệu giảm từ 175 xuống 170g/kWh, nguyên nhân bởi khi tỷ số nén gia tăng, công suất của động cơ cũng tăng. Tuy nhiên, sự gia tăng này không cần thiết phải tương ứng với việc tiêu thụ nhiên liệu tăng theo cùng mức độ. Mà các yếu tố chính dẫn tới sự cải thiện của suất tiêu hao nhiên liệu có thể kể đến như: Thứ nhất, sự hiệu quả của quá trình đốt cháy được cải thiện. Tăng tỷ số nén đồng nghĩa với việc quá trình đốt cháy diễn ra hiệu quả hơn, đồng thời giúp nhiên liệu được đốt cháy một cách hoàn toàn và tạo ra ít khí thải hơn. Kết quả là, với cùng lượng nhiên liệu, động cơ sẽ sản xuất công suất cao hơn. Thứ hai, khả năng điều chỉnh tỷ lệ nhiên liệu và không khí trong xy-lanh được cải thiện. Tăng tỷ số nén dẫn đến tăng sự hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí. Điều này cho phép động cơ điều chỉnh tỷ lệ nhiên liệu

và khí để đạt hiệu suất tối ưu, từ đó giảm suất tiêu hao nhiên liệu. Do đó, khi tăng tỷ số nén, động cơ có thể tạo ra công suất cao hơn và tiêu thụ ít nhiên liệu hơn. Cần lưu ý rằng, tuy việc tăng tỷ số nén mang lại lợi ích này, nhưng có thể yêu cầu sử dụng nhiên liệu có chất lượng cao hơn để tối ưu hóa hiệu suất của động cơ khi gia tăng tỷ số nén.

Hình 5 thể hiện ảnh hưởng của tỷ số nén tới công suất có ích của động cơ. Khi tỷ số nén của động cơ tăng từ 9,5 đến 13 thì công suất có ích của động cơ tăng từ 80,6 đến 82,92kW. Hiện tượng này có thể được giải thích bằng việc khi tỷ số nén tăng, lượng không khí trong xy-lanh cũng tăng lên một cách đáng kể. Kết quả, quá trình phun nhiên liệu vào xy-lanh được cải thiện, tạo ra một hỗn hợp nhiên liệu-khí tối ưu hơn. Khi nhiên liệu bị đốt cháy trong không gian xy-lanh, áp suất và nhiệt độ cũng tăng lên. Do đó, việc gia tăng tỷ số nén đồng nghĩa với việc cải thiện khả năng đốt cháy của nhiên liệu trong xy-lanh, và dẫn đến tăng công suất động cơ.



Hình 4. Sự thay đổi của suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ



Hình 5. Sự thay đổi của công suất có ích

5. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu đã cho thấy sự tương quan giữa tỷ số nén và các thông số quan trọng như áp suất buồng đốt, nhiệt độ cực đại, mô-men xoắn, công suất và tiêu hao nhiên liệu. Tỷ số nén có ảnh hưởng lớn tới quá trình làm việc của động cơ. Khi tỷ số nén tăng từ 9.5 đến 13 làm tăng mật độ của hỗn hợp không khí và nhiên liệu, giúp cho quá trình hòa trộn nhiên liệu và không khí được tốt hơn, đây là yếu tố giúp

cải thiện tốc độ và hiệu quả của quá trình đốt cháy giúp cho áp suất trong buồng đốt được tăng lên từ 105 đến 146bar, suất tiêu hao nhiên liệu giảm từ 175 xuống 170g/kWh và công suất có ích của động cơ tăng từ 80,6 đến 82,92kW. Khi động cơ làm việc ở chế độ toàn tải thì tỉ số nén tối ưu là 12,5. Tuy nhiên, việc tăng tỷ số nén cần chú ý và đảm bảo an toàn và ổn định của động cơ không xảy ra hiện tượng kích nổ. Đồng thời, việc tăng tỷ số nén có thể yêu cầu sử dụng nhiên liệu chất lượng cao hơn để đảm bảo hiệu suất tối ưu. Hướng nghiên cứu thời gian tới sẽ tiến hành nghiên cứu thêm về sự phát thải của động cơ khi thay đổi tỉ số nén để khắc phục sự hạn chế ở nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Shivapuji Anand M., Dasappa S., "Numerical assessment of methane number and critical compression ratio of gaseous alternative fuels: CFR engine quasi dimensional simulation approach," *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, 100661, 2020. DOI: 10.1016/j.tsep.2020.100661.
- [2]. Ashok Kumar T., Musthafa M. Mohamed, Chandramouli R., Kandavel T. K., Mohanraj T., Sridharan G., "Performance characteristics of a variable compression ratio CI engine simulation using artificial neural network," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1–11, 2019. DOI: 10.1080/15567036.2019.1648595
- [3]. Bedon Marie, Milosavljevic Misa, Morel Virginie, Solari Jean-Pascal, Bourhis Guillaume, Dauphin Roland, "Design of a valuable fuel couple and engine compression ratio for an Octane-On-Demand SI engine concept: A simulation approach using experimental data," *Fuel*, 189, 107–119, 2017. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.10.060
- [4]. N. T. Tien, *Nguyen ly dong co dot trong*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2003.
- [5]. Boost A. V. L., *Users Guide version 2011*. AVL LIST GmbH, Graz, Austria, Document, (01.0104), 2011.
- [6]. Khoa N.X., Lim O., "The Internal Residual Gas and Effective Release Energy of a Spark-Ignition Engine with Various Inlet Port–Bore Ratios and Full Load Condition," *Energies* 14, 3773, 2021.
- [7]. Nghia N.T., Khoa N.X., Cho W., Lim O., "A Study the Effect of Biodiesel Blends and the Injection Timing on Performance and Emissions of Common Rail Diesel Engines," *Energies* 15(1), 242, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/en15010242
- [8]. Khoa N.X., Kang Y., Lim O., "The effects of combustion duration on residual gas, effective release energy and engine power of motorcycle engine at full load," *Energy Procedia*, 158, 1835-1841, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.429
- [9]. Khoa N. X., Lim O. T., "The effects of bore-stroke ratio on effective release energy, residual gas, peak pressure rise and combustion duration of a V-twin engine," *Journal of Mechanical Science and Technology* 34 (6), 2657-2666, 2020. DOI: http://doi.org/10.1007/s12206-020-0539-z
- [10]. Khoa N.X., Lim O., "Influence of Combustion Duration on the Performance and Emission Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fueled with Pure Methanol and Ethanol," *ACS Omega*, 7, 17, 14505–14515, 2022. DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05759

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Xuan Khoa¹, Pham Van Tu², Nguyen Trung Kien¹

¹Hanoi University of Industry, Vietnam

²Hanoi Vocational College of High Technology, Vietnam