

NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN ĐƯỜNG NẠP ĐỘNG CƠ VEAM RV165 TRÊN PHẦN MỀM ANSYS-ICE

RESEARCH ON IMPROVING THE INTAKE MANIFOLD OF RV165 BY ANSYS ICE

Nguyễn Phi Trường¹, Đặng Văn Bính¹, Phạm Văn Giang², Lê Mạnh Tới², Nguyễn Duy Tiến^{2*}, Nguyễn Huy Chiến², Nguyễn Tuấn Nghĩa¹

TÓM TẮT

Động cơ RV165 do VEAM sản xuất đang được sử dụng phổ biến trong các thiết bị hoạt động trong lĩnh vực nông nghiệp. Tuy nhiên, mẫu động cơ này được sản xuất trên cơ sở nhượng quyền của hãng Kubota (Nhật Bản) cách đây đã hơn 20 năm. Quy trình chế tạo được thực hiện theo nhiều công nghệ cũ, lạc hậu nên chất lượng động cơ không cao, quá trình khai thác sử dụng phát sinh nhiều hạn chế. Vì vậy, trong bài báo này nhóm tác giả trình bày các kết quả nghiên cứu cải tiến đường nạp nhằm nâng cao hệ số nạp cũng như cải thiện quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí qua đó giúp cải thiện các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ. Quá trình nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm Ansys-ICE, các điều kiện biên của mô hình được xác định từ thực nghiệm trên băng thử ETB tại Trung tâm nghiên cứu Động cơ, nhiên liệu và khí thải của Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Từ khóa: Máy nông nghiệp, CFD, đường nạp.

ABSTRACT

RV165 engine produced by VEAM is being widely used in agricultural machinery in Viet Nam. However, this engine was manufactured on the basis of a franchise from Kubota (Japan) more than 20 years ago. The manufacturing process is carried out according to many old and outdated technologies, so the quality of the engine is not high, the exploitation and use process has many limitations. Therefore, in this paper, the authors will present the research results on improving the intake manifold in order to improve the intake coefficient as well as the mixing process between fuel and air thereby helping to improve the economic, technical and emissions of engine. The research process was carried out on Ansys-ICE software, the boundary conditions of the model were determined from experiments on the ETB test bench at the Research Center for Engine, Fuel and Emissions, Hanoi University of Science and Technology.

Keywords: Agricultural machinery, CFD, intake manifold.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: tien.nguyenduy@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/4/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

1. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG VÀ CƠ SỞ CẢI TIẾN ĐƯỜNG NẠP ĐỘNG CƠ RV165

1.1. Đánh giá hiện trạng các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải động cơ RV165

Để làm cơ sở đưa ra mục tiêu cải tiến nhóm nghiên cứu tiến hành thực nghiệm so sánh đối chứng các chỉ tiêu kinh

tế kỹ thuật và phát thải của động cơ RV165 so với động cơ cùng loại do nước ngoài sản xuất. Đối tượng được lựa chọn để so sánh đối chứng là Động cơ RT155 do Kubota Thái Lan sản xuất. Các thông số kỹ thuật của hai động cơ được thể hiện trong bảng 1 [1].

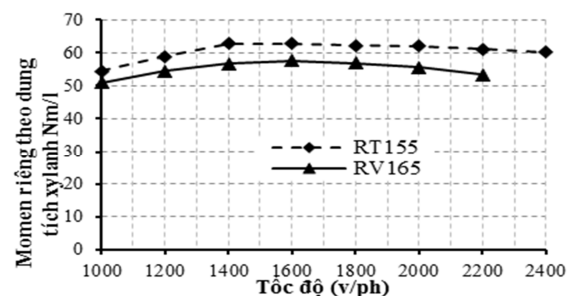
Bảng 1. Các thông số chính của hai động cơ

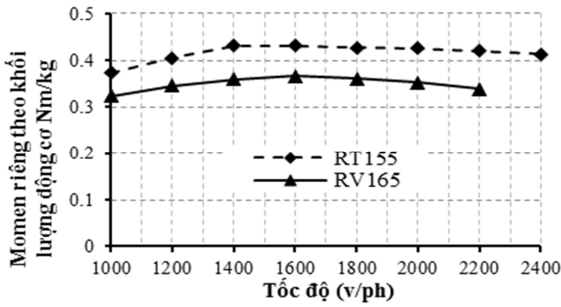
Ký hiệu	RV165	RT155
Loại động cơ	Diesel 4 kỳ, 1 xy-lanh, nằm ngang	
Hãng - Nước sản xuất	VEAM - Việt Nam	Kubota - Thái Lan
D x S	105mm x 97mm	100 x 98 mm
Dung tích xy-lanh	839cm ³	769cm ³
Khối lượng khô	132kg	112kg
Tỷ số nén	20:1	18:1
Công suất định mức	12,1kW/2200v/ph	11,4kW/2400v/ph
Momen xoắn lớn nhất	48,05N.m/1800v/ph	53,9N.m /1600v/ph
Suất tiêu hao nhiên liệu	239g/kWh	240g/kWh

Quá trình thực nghiệm được tiến hành trên băng thử động lực học cao tại Trung tâm nghiên cứu Động cơ, nhiên liệu và khí thải, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Quy trình đánh giá các tính năng kinh tế kỹ thuật của động cơ được thực hiện ở các chế độ như sau:

+ Các tính năng kinh tế - kỹ thuật được so sánh theo đường đặc tính ngoài và các đặc tính tải. Do hai động cơ có dung tích xy-lanh khác nhau nên mô men riêng (theo dung tích xy-lanh và khối lượng động cơ) được lựa chọn làm thông số so sánh đánh giá tính năng kỹ thuật. Tính năng kinh tế được đánh giá thông qua thông số suất tiêu hao nhiên liệu.

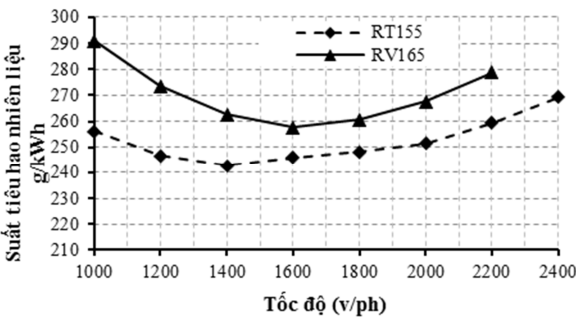
+ Về phát thải nhóm nghiên cứu lựa chọn chu trình thử ISO 8178 - 4 C1 (8 mode) làm cơ sở so sánh đối chứng giữa hai động cơ [2].





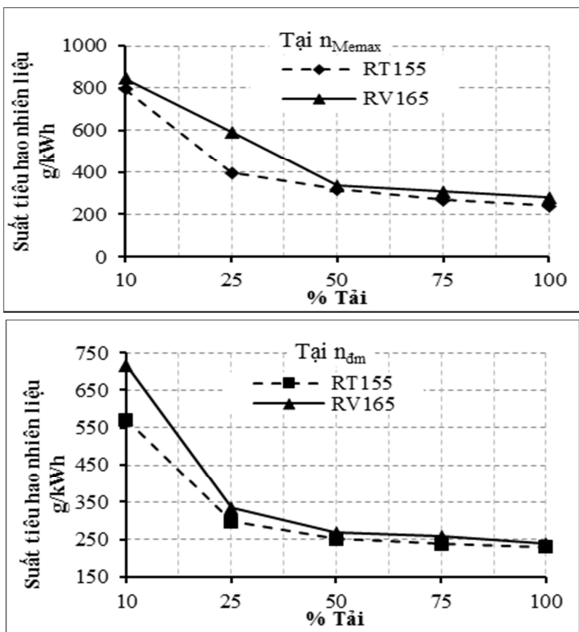
Hình 1. Mô men riêng theo dung tích xy lanh và khối lượng động cơ theo đường đặc tính ngoài

Hình 1 thể hiện mô men riêng theo dung tích xy lanh (M_{erv}) và khối lượng (M_{erk}) của hai động cơ tại đường đặc tính ngoài. Tính trung bình trên toàn đặc tính, so với động cơ RT155 M_{erv} và M_{erk} của động cơ RV165 lần lượt nhỏ hơn 21,1%; M_{erk} và 15,83%.



Hình 2. Suất tiêu hao nhiên liệu của hai động cơ theo đường đặc tính ngoài

Với suất tiêu hao nhiên liệu (g_e) như thể hiện trên hình 2. So với động cơ RT155, g_e trung bình trên cả đặc tính của động cơ RV165 cao hơn 3,74%.



Hình 3. Suất tiêu hao nhiên liệu của các động cơ theo đặc tính tải tại n_{Memax} và n_{dm}

Hình 3 thể hiện suất tiêu hao nhiên liệu của các động cơ tại hai đường đặc tính tải tại tốc độ có mô men lớn nhất

(n_{Memax}) và tốc độ định mức (n_{dm}). So với động cơ RT155, trung bình trên toàn đặc tính g_e của động cơ RV165 lần lượt cao hơn 16,79% tại n_{Memax} và 14,10% tại n_{dm} .

Bảng 2 thể hiện phát thải của hai động cơ theo chu trình thử ISO 8178-4C1 có thể nhận thấy các thành phần phát thải độc hại chính (CO, NO_x , PM) của động cơ RV165 cao hơn đáng kể so với động cơ RT155, trong khi đó phát thải HC của hai động cơ là tương đương.

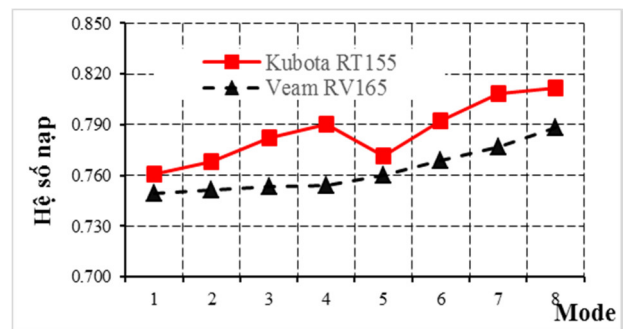
Bảng 2. Phát thải của các động cơ theo chu trình ISO 8178-4C1

Thành phần	Đơn vị	Giá trị đo	
		RV165	RT155
NO_x	g/kW.h	6,156	5,531
HC	g/kW.h	0,280	0,286
CO	g/kW.h	5,671	3,839
PM	g/kW.h	0,956	0,564

Như vậy, có thể nhận thấy các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ RV165 đều thấp hơn đáng kể so với động cơ RT155. Để nâng cao các tính năng làm việc của động cơ RV165 đòi hỏi cần có những nghiên cứu cải tiến tổng thể các cơ cấu, hệ thống của động cơ. Trong bài báo này nhóm tác giả trình bày các kết quả nghiên cứu cải tiến đường nạp nhằm nâng cao hệ số nạp, cải thiện quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí qua đó giúp cải thiện các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ.

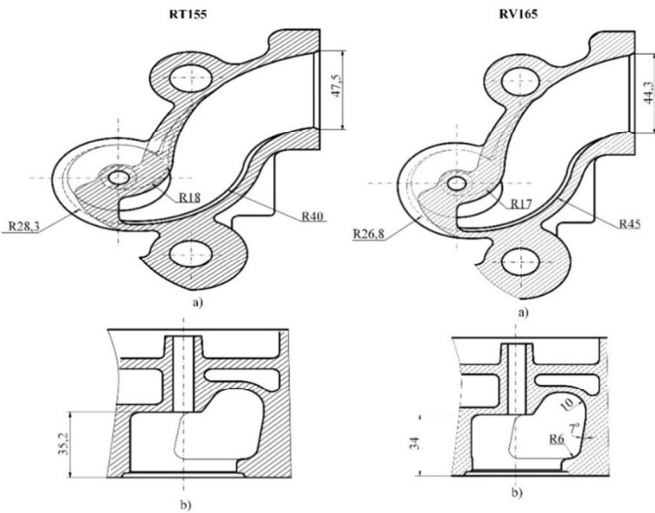
1.2. Phân tích kết cấu và đề xuất phương án cải tiến đường nạp động cơ RV165

Hình 4 thể hiện khảo sát hệ số nạp của động cơ RV165 và động cơ RT155 theo chu trình thử ISO 8178 - 4 C1. Kết quả cho thấy hệ số nạp của động cơ RV165 luôn thấp hơn tại tất cả các mode khảo sát.



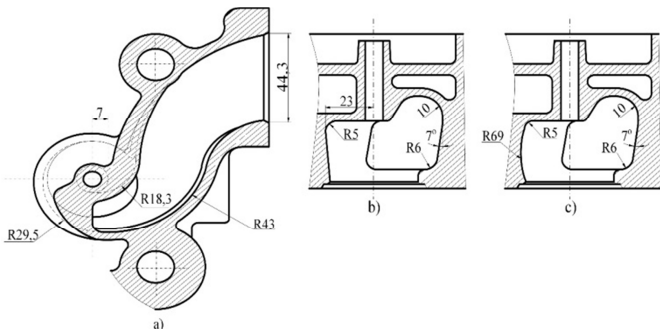
Hình 4. Hệ số nạp của hai động cơ thử nghiệm theo chu trình ISO 8178-4C1

Kết cấu thực tế đường nạp của hai động cơ được thể hiện trên hình 5. Có thể thấy đường nạp động cơ RV165 có nhiều đoạn cong và góc cong lớn hơn so với động cơ RT155. Về tỷ lệ tiết diện cổ nạp/đường kính xilanh, động cơ RT155 có giá trị lớn hơn (hình 5). Bên cạnh đó bằng trực quan có thể thấy bề mặt đường nạp động cơ RT155 nhẵn hơn so với động cơ RV165, đây là yếu tố có thể làm tăng tổn thất ma sát dọc đường của dòng khí nạp trên động cơ RV165. Ngoài ra, biên dạng của phần họng gần xupap nạp có độ cong nhỏ cũng làm tăng tổn thất cục bộ của dòng khí nạp khi đi vào xilanh.



Hình 5. Kết cấu biên dạng đường nạp động cơ RT155 và RV165: a) Đường ống nạp; b) Họng nạp

Như vậy, dựa trên các cơ sở phân tích hiện trạng cũng như tham khảo đường nạp động cơ RT155, nhóm nghiên cứu đề xuất 3 phương án cải tiến đường nạp động cơ RV165 theo hướng thay đổi độ cong của đường nạp (TH1), cải tiến biên dạng họng nạp (TH2 và TH3) như thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Các phương án cải tiến kết cấu đường nạp động cơ RV165

a) TH1- Thay đổi biên dạng đường nạp; b) TH2 và TH3- Thay đổi kết cấu họng nạp

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

2.1. Cơ sở lý thuyết Ansys ICE

Ansys ICE là phần mềm có khả năng mô hình hóa các dòng chảy nén được và không nén được, dòng chảy tầng, chảy rối. Trong nghiên cứu này, mô hình mô phỏng về dòng chảy được thực hiện dựa trên một số giả thiết sau đây [3]:

- (1) Môi chất là chất lỏng nhớt (độ nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất)
- (2) Dòng chảy là dòng ổn định
- (3) Xét tới ảnh hưởng của trọng lực
- (4) Môi chất ở đầu vào và ra là chất lỏng đồng nhất
- (5) Sử dụng mô hình rối k-ε tiêu chuẩn

Quá trình tính toán được dựa trên nền tảng là hệ các phương trình:

+ Phương trình bảo toàn khối lượng

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

+ Phương trình động lượng

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right] \tag{2}$$

+ Phương trình năng lượng

$$\rho c_p U_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{u_i T} \right] \tag{3}$$

Trong đó: U_j và T là vận tốc và nhiệt độ trung bình của môi chất; u_i', u_j' và T' là các thành phần dao động tương ứng; $\rho \overline{u_i u_j}$ và $\rho c_p \overline{u_i T}$ là ứng suất Reynolds và ứng suất nhiệt.

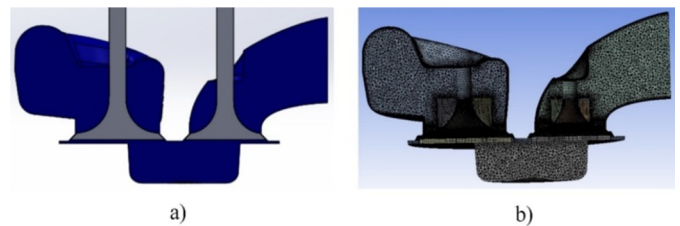
+ Phương trình rối k-ε

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \rho \epsilon \tag{4}$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \mu_t \frac{\epsilon}{k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \tag{5}$$

Các hằng số thực nghiệm sử dụng trong mô hình k - ε tiêu chuẩn có giá trị như sau: $C_{\mu} = 0,09$; $\sigma_k = 1,00$; $\sigma_\epsilon = 1,30$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$ và $\sigma_t = 0,85$

2.2. Mô hình hóa



Hình 7. Mô hình 3D (a) và chia lưới động cơ RV165 (b)

Từ các thông số kích thước của động cơ RV165 (bảng 1) cũng như các kích thước trên đường nạp (hình 5), nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành xây dựng mô hình 3D trên Solid work và chuyển sang Ansys-ICE để chia lưới và chạy mô phỏng (hình 7). Ngoài ra trong quá trình chia lưới, Ansys-ICE sẽ rời rạc hóa mô hình theo điều kiện dịch chuyển tịnh tiến của piston từ điểm chết trên (ĐCT) đến điểm chết dưới (ĐCD). Lưới tứ diện được sử dụng (Tetra) khi chia lưới, trong đó tại các bề mặt giáp ranh giữa môi chất và thành vách (xy lanh, nắp máy, xu páp) được chia theo kiểu lục diện (Hexa) nhằm thỏa mãn định luật log-law [4] (hình 7).

Bảng 3. Các giá trị điều kiện biên trong mô hình mô phỏng [5, 6]

STT	Điều kiện biên	Giá trị
1	Khí nạp vào	300K
2	Đường ống nạp	330K
3	Piston	450K
4	Xu páp nạp-thải	330 - 450K
5	Xy lanh	450K
6	Nắp máy	450K

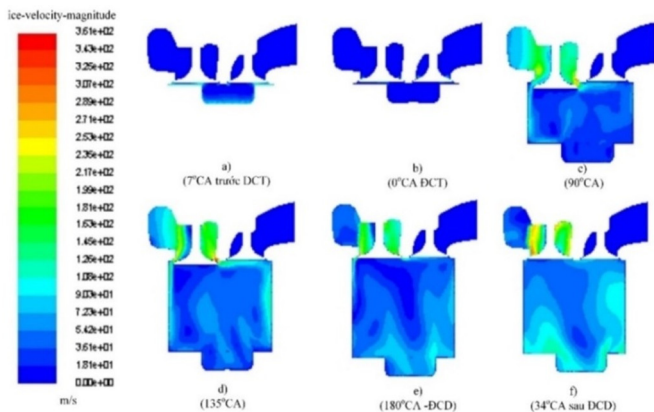
Quá trình mô phỏng được thực hiện khi xupáp nạp mở sớm (20° trước ĐCT) và kết thúc khi xupáp nạp đóng muộn (45° sau ĐCD), bước tính toán được sử dụng cho mỗi 0,5°CA. Các điều kiện biên trong quá trình mô phỏng như được thể hiện trong bảng 3.

Ngoài ra, trước thời điểm xupáp nạp mở trong xy lanh chứa khí sót có áp suất 1,1bar, nhiệt độ 820K [7].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân bố vận tốc quá trình nạp của ĐCĐT

Hình 8 trình bày vận tốc của dòng khí đi vào và bên trong xy lanh trong quá trình nạp động cơ. Vận tốc của dòng khí không có sự thay đổi rõ rệt khi độ nâng xupáp nạp nhỏ (piston ở gần ĐCĐT). Sau đó, tốc độ dòng khí nạp đi vào và tốc độ dòng khí trong xy lanh động cơ tăng dần theo sự chuyển động đi xuống của piston, vận tốc trung bình dòng chảy khí nạp đạt cực đại khi piston đi được khoảng nửa hành trình của quá trình nạp. Như vậy có thể thấy có mối quan hệ tuyến tính giữa vận tốc dòng khí trong buồng cháy với tốc độ chuyển động của piston hay sự thay đổi thể tích trong xy lanh động cơ.



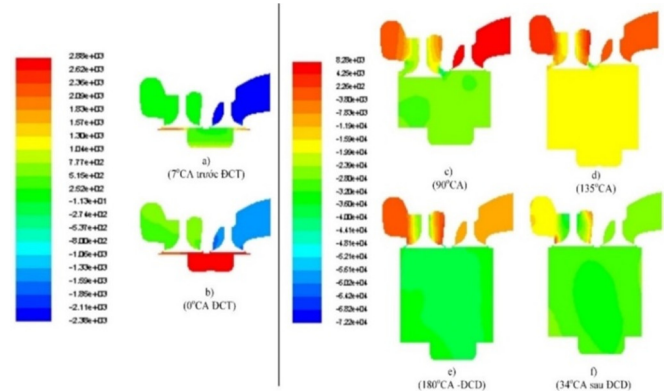
Hình 8. Phân bố vận tốc quá trình nạp trong xy lanh

Thông qua trường vận tốc dòng chảy có thể nhận thấy rằng tốc độ dòng khí trong quá trình nạp là không đều theo thời gian (góc quay trục khuỷu) và không gian (thể tích buồng cháy). Từ hình 8 có thể thấy khi dòng khí nạp khi đi qua khe hở giữa xupáp thì tại đây vận tốc dòng khí sẽ có giá trị lớn nhất (do tiết giữa giữa van và đế van xupáp nhỏ). Ngoài ra tại các hình 8c và 8d cho thấy sự hình thành rối-xoáy trong quá trình vận động của dòng môi chất trong xy lanh, điều này sẽ góp phần làm tăng quá trình hòa trộn giữa không khí và nhiên liệu ở cuối quá trình nén. Trong thực tế, quá trình nạp còn tiếp tục kéo dài khi piston qua ĐCD hình 8f, từ đó làm tăng hệ số nạp của ĐCĐT.

3.2. Phân bố áp suất trong quá trình nạp của ĐCĐT

Sự phân bố áp suất trong xy lanh được thể hiện theo các góc quay trục khuỷu trên hình 9. Từ hình 9a và 9b có thể thấy áp suất bên trong xy lanh lớn hơn áp suất trên đường nạp (piston chuyển động hướng lên ĐCT). Khi piston chuyển động từ ĐCT xuống ĐCD, do thể tích trong buồng cháy tăng lên, áp suất trong xy lanh nhỏ hơn áp suất trên đường nạp (hình 9c, d). Khi piston ở ĐCD (hình 9e) đến khi

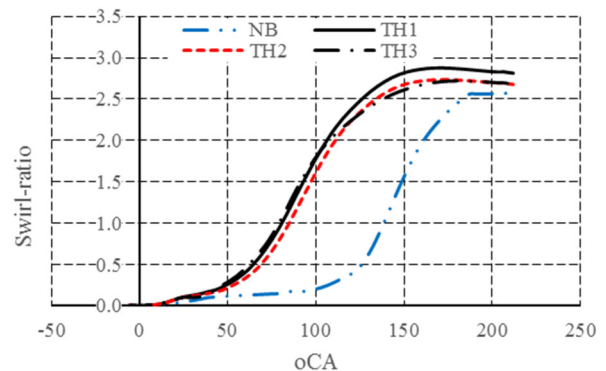
xupáp nạp đóng (hình 9f), chênh lệch áp suất trong xy lanh và cửa nạp giảm dần do quán tính của dòng khí nạp nạp thêm và chuyển động đi lên của piston.



Hình 9. Phân bố áp suất quá trình nạp trong xy lanh ĐCĐT

3.3. Ảnh hưởng kết cấu đường nạp đến hệ số xoáy lốc và hệ số nạp

Hình 10 thể hiện hệ số xoáy lốc ngang của động cơ (Swirl-ratio) ứng với các trường hợp biên dạng đường nạp khác nhau. Kết quả cho thấy Swirl_{NB} (nguyên bản) thấp hơn các trường hợp còn lại khi góc quay trục khuỷu (°CA) thay đổi. Bên cạnh đó Swirl_{TH1} có độ xoáy lốc ngang dao động lớn nhất. Cụ thể, giá trị cực đại của hệ số xoáy lốc ngang của động cơ trong TH1 là Swirl_{TH1} = 2,88 lớn hơn so với trường hợp nguyên bản là 2,61 (tăng 10,3%), điều này sẽ làm tăng chất lượng hoà trộn giữa không khí và nhiên liệu, giúp động cơ tận dụng được lượng không khí trong buồng cháy tốt hơn qua đó giúp cải thiện quá trình cháy qua đó giúp tăng công suất, giảm tiêu thụ nhiên liệu và phát thải độc hại.

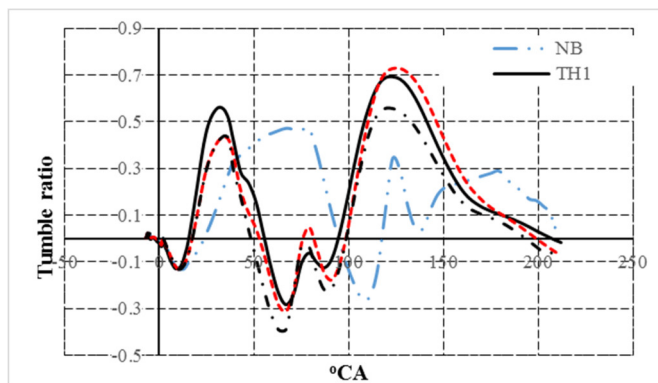


Hình 10. Hệ số xoáy lốc ngang ứng với các trường hợp biên dạng đường nạp khác nhau khi động cơ làm việc tại 2200v/ph

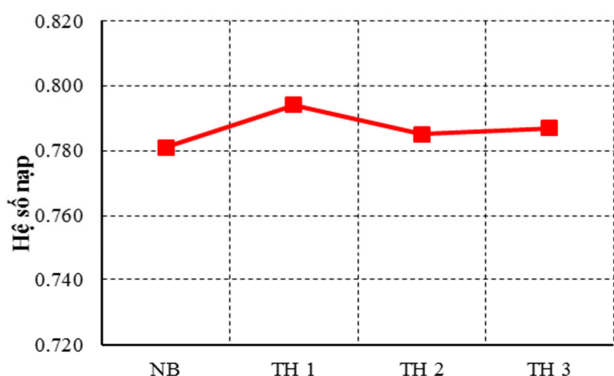
Ngoài ra, thành phần xoáy lốc dọc (Tumble-ratio) được thể hiện trên hình 11. Kết quả cho thấy biên độ dao động của thành phần xoáy lốc dọc trong trường hợp nguyên bản thấp hơn so với 3 trường hợp cải tiến còn lại. Tính trung bình trên toàn dải thì hệ số xoáy lốc dọc của TH2, Tumble_{TH2} = 0,72, tăng 7,1% so với trường hợp nguyên bản.

Hình 12 thể hiện hệ số nạp của động cơ với 4 trường hợp khác nhau khi động cơ làm việc tại 2200v/ph và 100% tải. Kết quả cho thấy với biên dạng đường nạp theo TH1 thì

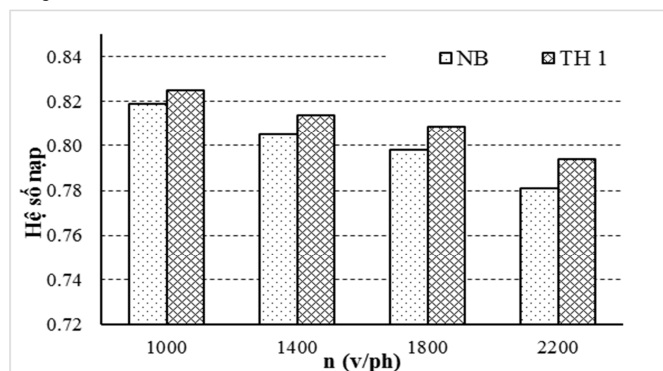
hệ số nạp của động cơ có giá trị cao hơn các trường hợp còn lại. Cụ thể, hệ số nạp ứng với TH1 có giá trị là $\eta_v = 0,794$ lớn hơn so với trường hợp nguyên bản $\eta_v = 0,781$, tăng tương ứng 1,66%. Như vậy có thể thấy việc giảm độ cong đường nạp trong TH1 (giảm tổn thất dọc đường) ảnh hưởng lớn hơn trong việc cải thiện hệ số nạp so với việc cải tiến hòng nạp trong TH2 và TH3 (giảm tổn thất cục bộ).



Hình 11. Hệ số xoáy lốc dọc ứng với các trường hợp biên dạng đường nạp khác nhau khi động cơ làm việc tại 2200v/ph



Hình 12. Hệ số nạp của động cơ với các biên dạng đường nạp khác nhau khi động cơ làm việc tại 2200v/ph



Hình 13. Hệ số nạp của động cơ trong 2 trường hợp theo đặc tính tốc độ

Hình 13 thể hiện hệ số nạp của động cơ ở hai trường hợp nguyên bản và TH1 theo đường đặc tính tốc độ ở 100% tải. Kết quả cho thấy hệ số nạp của động cơ theo phương án cải tiến TH1 cao hơn so với mô hình nguyên bản tại mọi tốc độ. Cụ thể, η_v tăng cao nhất là 1,66% tại tốc độ 2200 v/ph và tăng trung bình 1,22% trên toàn đặc tính. Như vậy, từ kết quả mô phỏng có thể thấy, khi đường nạp cải

tiến theo TH1 thì sẽ làm tăng hệ số nạp η_v , giúp cải thiện quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí, qua đó cải thiện chất lượng quá trình cháy giúp nâng cao các tính năng kinh tế, kỹ thuật và giảm phát thải của động cơ.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình đường nạp trên phần mềm Ansys ICE. Kết quả nghiên cứu cho thấy được bằng việc thay đổi độ cong và các kích thước của các mặt cắt đường ống nạp cùng với việc thay đổi phần biên dạng hòng nạp có thể giúp cải thiện quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí cũng như nâng cao hệ số nạp của động cơ. Đây là những tiền đề có thể giúp cải thiện chất lượng quá trình cháy qua đó nâng cao công suất, giảm tiêu thụ nhiên liệu và phát thải độc hại của động cơ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm 2021. Nhóm nghiên cứu trân thành cảm ơn Trung tâm nghiên cứu Động cơ, nhiên liệu và khí thải của, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã hỗ trợ trang thiết bị để nhóm tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Khong Vu Quang, Nguyen Duy Tien, Pham Minh Tuan, Le Anh Tuan, Pham Huu Tuyen, Nguyen The Truc, Le Tri Hung, Nguyen Tuan Thanh, 2020. *Research on current situation and proposing solutions to improve of economic, technical and emission capacities of diesel engine used in agricultural machinery with capacity ranged from 8 - 19kW*. The Vietnam Journal Mechanical Engineering No. Special.
- [2]. Le Viet Hung, Khong Vu Quang, Nguyen Duc Khanh, Pham Van Trong, 2019. *Simulation study on exhaust emissions of nonroad diesel engine RV165-2 and Kubota RT155 following the emission standard ISO 8178*. Journal of Water Resources & Environmental Engineering No. 64.
- [3]. *Ansys Fluent Theory Guide*, 2013. Available: https://www.academia.edu/38091499/ANSYS_Fluent_Theory_Guide.
- [4]. H.K. Versteeg, W. Malalasekera, 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method*. Second edition.
- [5]. *Ansys Internal Combustion Engines in Workbench*, 2013, Available: <http://www.ansys.com>.
- [6]. Nguyen Phu Thuong Luu, Nguyen Thanh Nhan, Nguyen Van Dong, 2017. *Nghien cuu dac tinh dong chay khong khi nap trong dong co dua tren mo phong CFD*. National Science and Technology Conference on Mechanics - Dynamics.
- [7]. Pham Minh Tuan, 2008. *Ly thuyet dong co dot trong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Phi Truong¹, Dang Van Binh¹, Pham Van Giang², Le Manh Toi², Nguyen Duy Tien², Nguyen Huy Chien², Nguyen Tuan Nghia¹

¹Hanoi University of Industry

²School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology