

NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN ĐƯỜNG NẠP ĐỘNG CƠ DIESEL 4 XYLANH SỬ DỤNG MÔ PHÒNG CFD

A STUDY OF INTAKE MANIFOLD IMPROVEMENT OF FOUR CYLINDER DIESEL ENGINE BY CFD SIMULATION

ThS. Vũ Xuân Thiệp¹, TS. Ngô Văn Thanh²

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

²Khoa Cơ khí và Động lực, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng nhằm cải tiến đường nạp của động cơ diesel 4 xylanh. Các nghiên cứu mô phỏng được thực hiện trên đường nạp khi thay đổi kích thước và biên dạng đường nạp. Công việc này được thực hiện trên phần mềm động lực học chất lỏng (CFD). Kết quả mô phỏng thu được chỉ rõ cả lưu lượng nạp và chuyển động xoáy của dòng khí nạp được cải thiện đáng kể sau khi thay đổi đường kính, chiều dài và hình dáng của đường nạp. Kết quả mô phỏng là một cơ sở quan trọng trợ giúp cho quá trình cải tiến đường nạp của động cơ diesel 490QZL.

Từ khóa: Đường nạp; Biên dạng; Động cơ diesel; Xoáy lốc.

ABSTRACT

This paper presents simulation study of intake manifold improvement of four cylinder diesel engine. The simulation studies were performed on an intake manifold of four cylinder diesel engine that size and configuration are changed. The simulations were carried out using computational fluid dynamics (CFD). The results showed that both flow rate and swirl intensity of intake air are significantly improved after the optimal of diameter, length, and configuration of intake manifold was improved. These simulation results have provided important information that can usefully assist in the first step of the process improvement of intake manifold for the 490QZL diesel engine.

Keywords: Intake manifold, Configuration, Diesel engine, Swirl intensity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhiệm vụ chính của đường nạp là cung cấp khí nạp từ ngoài môi trường tới mỗi cửa nạp của từng xy lanh, sự cung cấp này ảnh hưởng rất nhiều tới hiệu suất nạp và sự hoạt động ổn định, hiệu quả của động cơ. Có nhiều nhân tố ảnh hưởng tới quá trình này có thể kể ra là: Áp suất và nhiệt độ trước cửa nạp, tỷ số nén, hình dáng đường nạp [1].

Thiết kế đường nạp là một nhân tố quan trọng trong việc nghiên cứu hoàn thiện động cơ. Một đường nạp với hiệu suất nạp cao và tạo xoáy lốc tốt sẽ giúp quá trình hòa trộn nhiên liệu – không khí và cháy tốt hơn. Do vậy, hầu hết các nhà nghiên cứu cải tiến động cơ đều quan tâm đến việc cải tiến đường nạp [2-4].

Hiện nay, mô phỏng số đang ngày càng được áp dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khoa học kỹ thuật, đóng một vai trò quan trọng trong việc kiểm chứng lý thuyết và từ đó ta có thể đưa ra các tiên đoán thực nghiệm. Đây là phương pháp được thực hiện nhanh, tiết kiệm chi phí so với làm thí nghiệm.

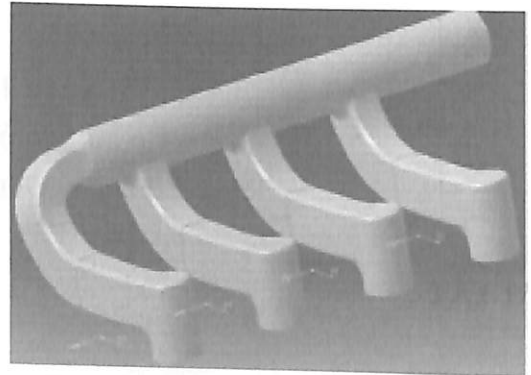
Trong bài báo này, tác giả ứng dụng phần mềm ANSYS FLUENT để mô phỏng dòng chảy trong đường ống nạp động cơ diesel 4 xy lanh 490QZL [5-7]. Từ mô phỏng, chúng ta có thể dự đoán, quan sát và phân tích dòng khí nạp và đánh giá quá trình làm việc của đường nạp, nhờ đó có thể thực hiện các điều chỉnh về kích thước và đưa ra một đường nạp tốt hơn.

2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

2.1. Cơ sở lý thuyết

Trên nền tảng sự liên kết giữa các phần mềm vẽ 3D (Catia, soliworks,...) chia lưới

(mesh) và Fluent, tác giả thiết lập hai mô hình số của đường nạp tương ứng với đường nạp nguyên thủy và đường nạp cải tiến. Cơ sở lý thuyết của mô phỏng CFD là hệ phương trình Navier-Stokes mô tả trao đổi năng lượng, động lượng và trao đổi chất của dòng môi chất là chất lỏng nhớt trong không gian 3 chiều gồm 3 phương trình như sau [4]:



Hình 1. Mô hình đường nạp nguyên thủy.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v}) = S_m \tag{1}$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \rho \cdot \vec{f}, \tag{2}$$

Phương trình năng lượng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \right] + \nabla \cdot \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \vec{v} \right] = \\ = -\nabla(p \vec{v}) + \rho q + p \cdot (\vec{f} \cdot \vec{v}) \end{aligned} \tag{3}$$

Trong đó:

t- Thời gian, ρ- Khối lượng riêng, v – Tốc độ dòng, p – Áp suất dòng, S_m - Khối lượng được thêm vào pha liên tục từ pha khuếch tán thứ 2 và các nguồn do người dùng định nghĩa, q- Nhiệt lượng chuyển hóa riêng, e- Nội năng, f- Nội lực.

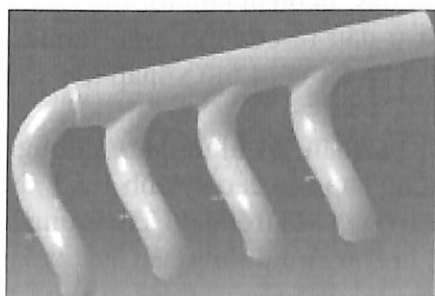
2.2. Mô hình mô phỏng

Từ kết cấu của đường nạp của động cơ như hình 1, chúng ta có thể thấy đường nạp trong nắp máy uốn khúc và thay đổi tiết diện nhiều lần. Điều này, không tạo thuận lợi cho dòng khí nạp vào trong xy lanh và tạo xoáy lốc, do vậy, ta cần cải tiến như sau:

Thay đổi tiết diện ống nạp sang tiết diện tròn.

Tạo độ chuyển tiếp trơn tru hơn.

Do sự hạn chế về không gian nên ta vẫn giữ nguyên chiều dài đường ống nạp. Kết cấu đường nạp của cả 2 trường hợp được trình bày như hình 1 và 2.



Hình 2. Mô hình đường nạp cải tiến.

2.3. Điều kiện biên

Động cơ dùng trong mô phỏng là động cơ diesel 4 kỳ 490QZL, với các thông số kỹ thuật như bảng 1. Trong một bài toán mô phỏng việc xác định điều kiện biên sát với trạng thái làm việc thực tế là một công việc quan trọng. Trên cơ sở trạng thái làm việc mô phỏng như sau: Tại đầu vào của đường nạp điều kiện biên của quá trình mô phỏng của động cơ, ta chọn điều kiện biên trong là áp suất và nhiệt độ môi trường, còn điều kiện biên của đầu ra là tốc độ piston và nhiệt độ trong xy lanh, điều kiện biên của các thông số khác là Wall được trình bày trong các bảng 2, 3, 4.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ:

STT	Thông số	Giá trị
1	Kiểu động cơ	Diesel 4 kỳ
2	Số xy lanh	4
3	DxS	90 x 100 mm
4	Thể tích công tác	cm ³
5	Công suất	60 kW/3200 v/ph
8	Mô men lớn nhất, tại 2200 v/ph	206 Nm

Bảng 2. Điều kiện biên:

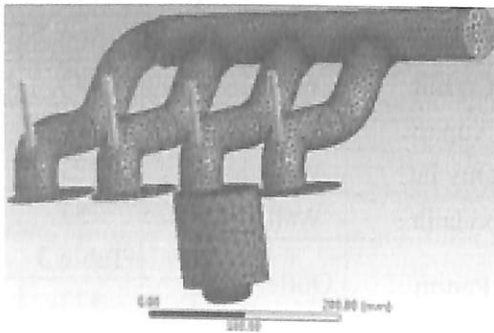
Điều kiện biên	Vị trí	Mô hình	Thông số		Đơn vị
			Ký hiệu	Giá trị	
Ống nạp	Inlet		p	1	Bar
			T	300	K
Cổ hút	Wall		T	373	K
Xupap	Wall		T	473	K
Quy lát	Wall		T	773	K
xy lanh	Wall		T	753	K
Piston	Outlet		V	Table 3	m/s
			T	573	K

Bảng 3. Các thông số mô phỏng:

Vị trí	Góc quay TK (°)	Độ nâng XP (mm)	Vị trí piston (mm)
1	0	0,25	0
2	20	0,96	5,93
3	40	2,31	22,01
4	60	4,62	43,72
5	80	6,59	65,52
6	116	8,26	92,09
7	130	7,86	96,79
8	160	5,89	99,91
9	180	3,81	100
10	200	1,85	99,91

Bảng 4. Điều kiện biên đầu ra cho mô hình:

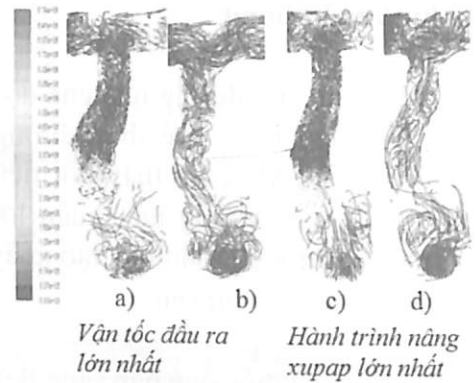
Vị trí	Vận tốc (m/s)	
	2200 v/ph	3200 v/ph
1	0,95 bar	0,96 bar
2	4,87	7,08
3	8,82	12,83
4	11,22	16,32
5	11,84	17,22
6	9,22	13,41
7	7,41	10,77
8	3,01	4,39
9	0,9bar	0,92bar
10	-3,01	-4,39



Hình 3. Chia lưới mô hình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi hoàn thành các công đoạn xây dựng mô hình 3D, chia lưới và chạy mô hình trên phần mềm Fluent, ta thu được khá nhiều thông số của quá trình nạp như: Sự phân bố dòng khí, vận tốc dòng khí, nhiệt độ T, áp suất p và mật độ ρ ,... Với mục đích quan sát sự phân bố chuyển động rối của dòng khí nạp, chúng ta thường chú trọng ở chế độ làm việc từ tốc độ nM tới tốc độ định mức của động cơ. Ở đây, ta quan tâm tới trạng thái tốc độ lớn nhất ở đầu ra của mô hình tương ứng là: 17,22 m/s và tại vị trí mở xupap lớn nhất.



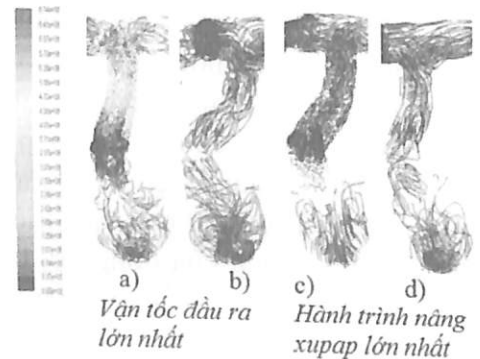
Hình 4. Hình ảnh mô phỏng vận tốc dòng khí nạp theo màu của đường nạp 3 tại 2200v/ph, a,c – mô hình nguyên thủy, b,d- mô hình cải tiến.

Để có thể phân tích quá trình nạp, cần chú trọng đến quá trình vận động của dòng khí nạp vào xylanh và khối lượng nạp thực tế.

Ở đây, ta quan tâm tới trạng thái tốc độ lớn nhất ở đầu ra của mô hình tương ứng là: 17,22 m/s và tại vị trí mở xupap lớn nhất.

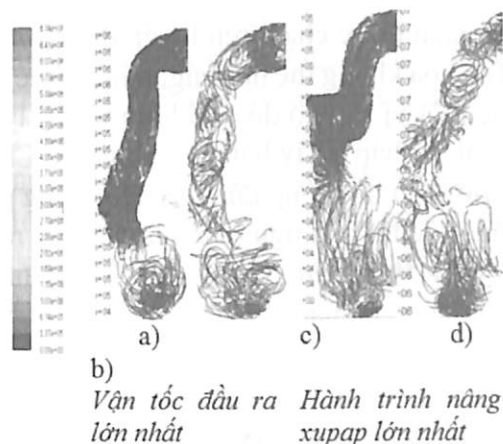
Khi quan sát hình dáng đường nạp, ta thấy đường nạp vào các xylanh 1,2,3 khá giống nhau, nên dòng khí trong đó khá tương tự nhau. Do vậy, ta khảo sát đường nạp của xy lanh 3 và xylanh 4.

Trên hình 4, ta thấy dòng khí nạp trên đường nạp đi vào xylanh 3 tại tốc độ 2200v/ph trên mô hình nguyên thủy không phân bố đều bằng mô hình cải tiến.

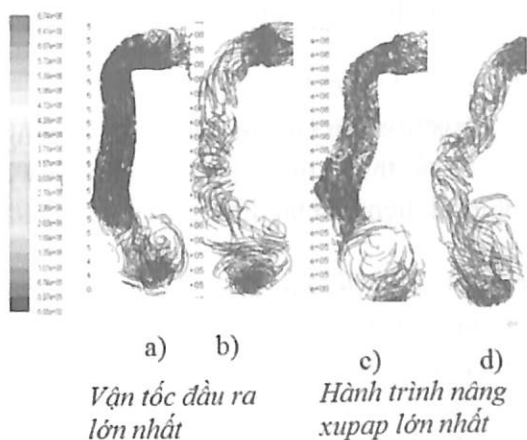


Hình 5. Hình ảnh mô phỏng vận tốc dòng khí nạp theo màu của đường nạp 3 tại 3200v/ph, a,c – mô hình nguyên thủy, b,d- mô hình cải tiến.

Trên hình 5, tại tốc độ đầu ra lớn, thì mô hình nguyên thủy đã xuất hiện vận tốc cao của dòng khí trên nhánh nạp (hình 5a); tuy nhiên, phân bố dòng khí nạp đi vào xylanh lại giảm đột ngột, điều này có lẽ nguyên nhân do sự chuyển hướng đột ngột của đường nạp, điều này không xảy ra ở mô hình cải tiến.



Hình 6. Hình ảnh mô phỏng vận tốc dòng khí nạp theo màu của đường nạp 4 tại 2200v/ph: a,c – Mô hình nguyên thủy; b,d- Mô hình cải tiến.



Hình 7. Hình ảnh mô phỏng vận tốc dòng khí nạp theo màu của đường nạp 4 tại 3200v/ph: a,c – Mô hình nguyên thủy; b,d- Mô hình cải tiến.

Trên hình 6 và hình 7 là hình ảnh mô phỏng dòng khí nạp trên nhánh đi vào xylanh 4, điều tương tự như nhánh nạp đi vào xylanh 3 cũng xảy ra. Qua quan sát, chúng ta có thể

nhận ra rằng, dòng khí nạp trong mô hình cải tiến cũng phân bố đều hơn và chuyển động ít bị xoáy cuộn hơn trên nhánh nạp.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả đã phân tích trên, chúng ta có thể khẳng định rằng đường nạp cải tiến cho hiệu quả nạp tốt hơn đường nạp nguyên thủy. Đây là một cơ sở cho chúng ta cải tiến, hoàn thiện đường nạp. Hơn nữa, chúng ta có thay đổi các kết cấu để tìm ra một kết cấu đường nạp tối ưu với chi phí về thời gian và tài chính là tối thiểu so với phương pháp truyền thống.

Ngoài ra, bài báo đề xuất phương án đánh giá và cải tiến đường nạp, cũng như có thể chọn vị trí đặt vòi phun. Qua đây cũng chỉ ra rằng, mô phỏng CFD có thể là một công cụ mạnh trong thiết kế, cải tiến và hoàn thiện đường nạp của động cơ trong thời đại số ngày nay. ❖

Ngày nhận bài: 10/10/2018

Ngày phản biện: 12/11/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Tất Tiến (2003); *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB. Giáo dục.
- [2]. Vũ Xuân Thiệp (2014); *Tối ưu đường nạp cho động cơ diesel 1 xylanh bằng phần mềm CFD*, Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Vũ Xuân Thiệp, Khổng Vũ Quang, Nguyễn Văn Giang (2015); *Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng đường nạp đến hiệu suất nạp của động cơ diesel 1 xylanh*, Tạp chí Khoa học công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
- [4]. K.David Huang, Khong Vu Quang, Kuo-Tung Tseng, *study of the effect of contraction of cross-sectional area on flow energy merger in hybrid pneumatic power system*, Applied Energy 2009;86:2171-2182.
- [5]. ANSYS Fluent Tutorial Guide.
- [6]. Tutorial guide Gambit 2.4.
- [7]. Tutorial guide Fluent 6.3.